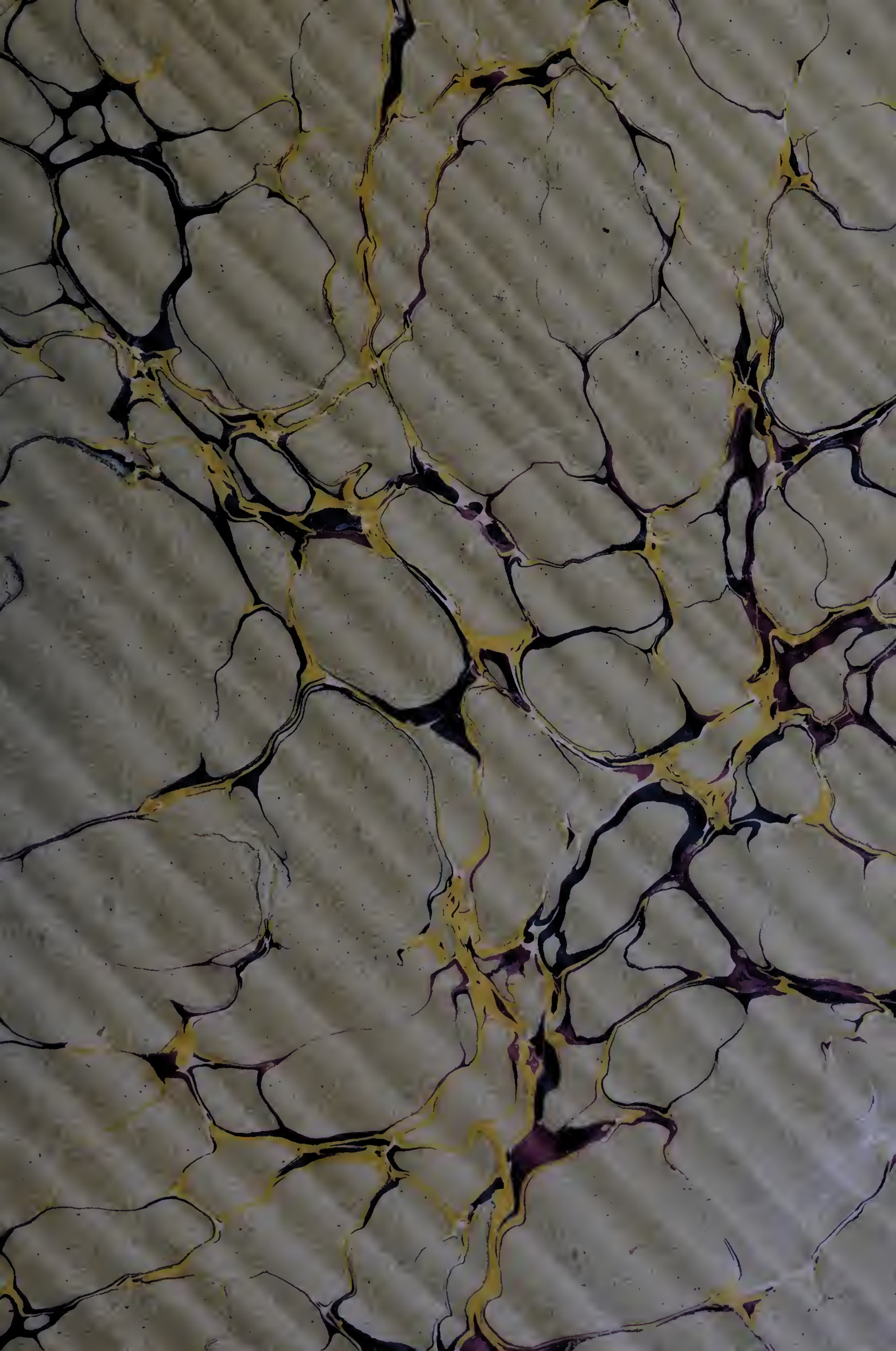


MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe IV. — Matériel et procédés généraux de la Mécanique

PREMIÈRE PARTIE. — CLASSE 19

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMVI

C. F. E.

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900

1150

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1900
À PARIS

RAPPORTS
DU JURY INTERNATIONAL

Groupe IV. — Matériel et procédés généraux de la Mécanique

PREMIÈRE PARTIE. — CLASSE 19

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M CMVI

Fb 250
COMITÉ FRANÇAIS
DE PROPRIÉTÉ À L'ÉTRANGER
N° 1292
BIBLIOTHÈQUE

CLASSE 19

Machines à vapeur

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. CHARLES WALCKENAER

INGÉNIEUR EN CHEF DES MINES

IMPRIMERIE NATIONALE.

COMPOSITION DU JURY.

BUREAU.

MM. Hirsch (Joseph), inspecteur général honoraire des ponts et chaussées, professeur au Conservatoire national des arts et métiers, *président* . . . . . France.

Lanz (Heinrich), conseiller intime de commerce, *vice-président* . . . . . Allemagne.

Walckenaer (Charles), ingénieur en chef des mines, chargé du service de la surveillance des appareils à vapeur du département de la Seine, professeur à l'École nationale des ponts et chaussées, rapporteur de la Commission centrale des machines à vapeur, *rapporteur* . . . . . France.

Compère (Charles), ingénieur des arts et manufactures, délégué général des associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur, directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, *secrétaire* . . . . . France.

JURÉS TITULAIRES FRANÇAIS.

MM. Debize (Alphonse), ingénieur en chef du Service central des constructions des manufactures de l'État, professeur à l'École d'application des manufactures de l'État . . . . . France.

Fauquier (Pierre), machines à vapeur . . . . . France.

Flipot (Émile), constructions mécaniques . . . . . France.

Garnier (Émile), ingénieur des arts et manufactures, constructions mécaniques . . . . . France.

Guyot-Sionnest (Étienne), ingénieur des arts et manufactures, ancien constructeur de machines à vapeur, juge au Tribunal de commerce de la Seine . . . . . France.

Liébaut (Arthur), ingénieur des arts et manufactures, membre de la Commission centrale des machines à vapeur et du Comité consultatif des arts et manufactures . . . . . France.

Michel-Lévy (Auguste), membre de l'Institut, inspecteur général des mines, directeur du Service de la carte géologique détaillée de la France . . . . . France.

Roser (Nicolas), chaudières à vapeur . . . . . France.

Sauvage (Édouard), ingénieur en chef des mines, professeur à l'École nationale supérieure des mines, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction aux Chemins de fer de l'Ouest . . . . . France.

JURÉS TITULAIRES ÉTRANGERS.

MM. Pfaff (Charles), ingénieur . . . . . Autriche.

Timmermans (Fr.), ingénieur directeur-gérant des ateliers de construction de la Meuse . . . . . Belgique.

Le Blanc (Charles), ingénieur en chef de la Compagnie générale de traction . . . . . États-Unis.

MM. Donkin (Bryan), membre de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, membre du conseil de l'Institut des ingénieurs-mécaniciens de Londres. Grande-Bretagne.

Saldini (Eugène-César), ingénieur, professeur à l'Institut royal technique supérieur de Milan. . . . . Italie.

Stork (C.-F.), constructions mécaniques . . . . . Pays-Bas.

de Doepp (Georges), professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas Ier . . . . . Russie.

Nycander (O.), ingénieur . . . . . Suède.

Stodola, professseur à l'École polytechnique fédérale de Zurich . . . . . Suisse.

JURÉS SUPPLÉANTS FRANÇAIS.

MM. Dorel (Pierre-Nicolas), membre de la Société des ingénieurs civils . . . . . France.

Imbert (Agamemnon), ancien député, chaudières, ancien président de la Société des anciens élèves des Écoles nationales d'arts et métiers . . . . . France.

JURÉS SUPPLÉANTS ÉTRANGERS.

MM. Krumper, ingénieur conseil des ateliers de constructions mécaniques d'Augsbourg et Nuremberg . . . . . Allemagne.

Delano (W. H.) . . . . . Grande-Bretagne.

Roth (Paul), inspecteur général des ateliers de construction des chemins de fer de l'État, administrateur délégué et directeur de la Compagie générale des asphaltes de France . . . . . Hongrie.

MACHINES À VAPEUR.

INTRODUCTION.

A la précédente Exposition universelle de Paris, en 1889, les machines et appareils de la mécanique générale n'avaient formé qu'une classe, la Classe 52. En 1900, le matériel et les procédés généraux de la mécanique ont constitué le Groupe IV, composé des quatre classes suivantes :

Classe 19. — *Machines à vapeur.*
Classe 20. — *Machines motrices diverses.*
Classe 21. — *Appareils divers de la mécanique générale.*
Classe 22. — *Machines-outils.*

Le présent rapport a trait à la Classe 19, c'est-à-dire aux machines à vapeur dont l'emploi rentre dans les procédés généraux de la mécanique.

Ce ne sont pas toutes les machines à vapeur. Celles dont une constitution spéciale particularise étroitement l'usage, comme les locomotives de chemins de fer, les moteurs de bateaux, les souffleries métallurgiques, ont figuré dans les classes des industries correspondantes. Les jurys de ces classes ont eu à les voir, chacun du point de vue de sa spécialité.

Mais à la Classe 19 ressortissait la machine à vapeur, envisagée comme moteur thermique d'application générale. Le jury de cette Classe avait à récompenser les progrès qui rendent de plus en plus souple et fort ce ressort universel de l'industrie.

Par vapeur, dans tout ce qui suivra, l'on doit entendre exclusivement la vapeur d'eau. Pourtant la classification annexée au décret du 4 août 1894 avait attribué à notre Classe toute machine utilisant, comme intermédiaire de transformation de la chaleur en travail, la vapeur d'un liquide quelconque; mais, malgré l'intérêt théorique de cette généralisation, malgré les efforts tentés à diverses époques pour rendre pratique l'emploi des moteurs à vapeurs combinées, aucun exposant n'a présenté de système mettant en jeu l'évolution d'un fluide autre que l'eau.

Une partie de l'exposition de la Classe, la partie la plus imposante par la grandeur et la puissance des appareils, offrait un double caractère qu'il convient dès à présent de signaler. Les générateurs de vapeur, les récepteurs, les condenseurs qui la composaient, étaient appelés à fonctionner, au compte de l'Administration, pour mettre en

mouvement les machines génératrices d'électricité qui envoyaient dans toutes les parties de l'Exposition universelle la force et la lumière : c'étaient les appareils moteurs des groupes électrogènes du Champ de Mars.

Ces chaudières et ces machines à vapeur étaient à la fois des appareils exposés et les engins moteurs des services généraux de l'Exposition. Au regard des comités et du jury de la Classe, leurs propriétaires étaient des exposants ; pour le service des installations mécaniques de l'Exposition, dirigé avec tant de talent et une si infatigable activité par M. Charles Bourdon, ils étaient des fournisseurs.

En rendant compte de la constitution et de l'organisation générale de la Classe, nous aurons donc à résumer les dispositions prises par le service des installations mécaniques.

Les rapports successivement dressés, à la suite des précédentes Expositions universelles, au sujet des appareils de la mécanique générale[1], ont été comparés à autant de jalons plantés sur la route du progrès mécanique et marquant l'avancement d'époque en époque. L'objet du présent travail est, pour ce qui touche la machine à vapeur destinée aux usages généraux des établissements industriels, d'ajouter un nouveau repère à ce jalonnement. Avant d'entrer dans aucun détail, il convient de jeter un coup d'œil d'ensemble sur l'étape parcourue depuis 1889 et sur l'état actuel de la machine à vapeur.

Les nouveautés qui tranchent le plus sur les méthodes anciennes sont relatives aux turbines à vapeur et à l'emploi de la vapeur surchauffée.

En principe, ce ne sont pas là des inventions récentes. Mais, à la faveur des progrès de la construction et des acquisitions de la science, un vif essor a été redonné à des idées qui sommeillaient, n'étant pas parvenues précédemment à se faire jour sur le terrain de la pratique.

L'histoire des turbines à vapeur remonte à l'éolipyle de Héron d'Alexandrie. Il y a près d'un demi-siècle, Tournaire a vu avec une admirable netteté sur quels principes devait être établi leur fonctionnement. Le mouvement moderne en leur faveur a reçu de C. A. Parsons, une première impulsion dès 1884. Mais, durant ces derniers dix ans, la turbine Parsons a reçu des perfectionnements tels que le système apparaît trans-

[1] Voici, pour ce qui a trait aux machines à vapeur, l'indication de ces rapports; nous ne parlons que des expositions universelles tenues à Paris :

Exposition de 1855. — Groupe II, Classe 4 : *Mécanique générale appliquée à l'industrie;* 6e section : *Machines à vapeur et à gaz,* par M. H. Fournel, ingénieur en chef des mines. — Imprimerie impériale, 1856.

Exposition de 1867. — Groupe VI, Classe 53 : *Machines et appareils de mécanique générale;* 5e section : *Machines à vapeur, chaudières, générateurs, etc.,* par M. P. Luuyt, ingénieur des mines. — Paris, imprimerie administrative de Paul Dupont, 1868.

Exposition de 1878. — Groupe VI, Classe 54 : *Machines et appareils de la mécanique générale,* par M. Hirsch, ingénieur des ponts et chaussées. — Imprimerie nationale, 1883.

Exposition de 1889. — Groupe VI, Classe 52 : *Machines et appareils de la mécanique générale,* par M. Hirsch, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Imprimerie nationale, 1893.

formé, prêt au service de groupes électrogènes de puissance considérable; la turbine de Laval a été créée, son principe mis en valeur par une construction de premier ordre, son emploi largement répandu; de toutes parts, de savants travaux, comme ceux de M. Auguste Rateau, préparent des solutions fondées sur la plus solide théorie et sur les expériences les plus attentives.

Quant à la surchauffe, son influence favorable sur le rendement des récepteurs est une vérité classique depuis les travaux de G. A. Hirn et de l'école alsacienne. Jusqu'à ces dernières années, les tentatives faites pour profiter de cet avantage s'étaient heurtées à une double impossibilité : on ne savait ni produire d'une manière sûre et régulière la vapeur désaturée, ni utiliser un degré notable de surchauffe sans exposer les machines à des grippements. Le second de ces obstacles peut être, actuellement, considéré comme aplani : les lubrifiants minéraux, les distributions par soupapes, les garnitures métalliques ou à base d'amiante, permettent d'admettre la vapeur dans les cylindres à des températures approchant de 400 degrés; sous l'influence de remarquables travaux, comme ceux de W. Schmidt, les constructeurs ont rivalisé d'ingéniosité, en Allemagne, en Autriche, en Hollande, pour constituer des récepteurs appropriés à un fluide très chaud.

Malheureusement, la première partie du problème reste délicate : c'est la conséquence des propriétés mêmes de la vapeur d'eau. Une fois désaturée, il suffit de faibles variations de chaleur pour élever ou abaisser grandement sa température; le surchauffeur ne jouit pas de cette stabilité de régime que donne à la chaudière la présence d'une masse liquide dont la chaleur latente de vaporisation est considérable. De plus, à raison de la faible conductibilité de la vapeur, il n'est pas facile de lui incorporer les quelques calories nécessaires dans de bonnes conditions de simplicité et de rendement. Il est cependant de toute nécessité que le procédé soit simple et ait un rendement thermique convenable, sans quoi les frais d'appareillage, de main-d'œuvre et de combustible ne tarderaient pas à compenser, et au delà, l'économie réalisée sur la consommation du récepteur. Enfin, une fois la surchauffe acquise, c'est encore une difficulté de ne pas laisser le fluide la perdre dans son trajet jusqu'au moteur. Des progrès intéressants ont été faits; l'avenir seul pourra montrer s'ils sont décisifs.

Par ailleurs, les innovations introduites depuis la dernière Exposition universelle consistent en une série de perfectionnements dont aucun n'a été une révolution, mais dont la somme apparaît considérable lorsqu'on embrasse du regard le chemin parcouru. C'est la continuation ininterrompue de ce que R. H. Thurston appelait *the growth of steam engine.*

Pour les générateurs, on se rend un meilleur compte du fort et du faible de chaque système, de manière à adopter dans chaque cas celui qui convient le plus exactement; les conditions de sécurité sont mieux comprises; les formes sont mieux étudiées, la construction est en plus complète harmonie avec les pressions en usage, que les conditions de puissance et de rendement imposées aux moteurs conduisent à élever de plus en plus. Pour les récepteurs, on aborde sans crainte la fabrication d'unités

aussi puissantes que le réclament les applications : nous aurons à décrire des groupes électrogènes de 1,500, de 2,000, de 2,400 chevaux; on est allé plus loin encore, tant en Europe qu'en Amérique, dans l'appareillage de certaines usines d'électricité; d'ailleurs, l'exemple des grandes machines marines ouvre, dans cette voie, un champ étendu. Grâce à une plus vieille expérience et à une analyse plus exacte des effets de l'inertie, on s'est singulièrement enhardi aussi en ce qui touche les vitesses. Les pistons à longue course reçoivent couramment des vitesses moyennes de 4 à 5 mètres par seconde.

Dans les petites machines, l'accélération du piston en fin de course est souvent poussée aux environs de 200 m : s^2. Des machines fixes de plus de 100 chevaux sont construites pour 500 tours, des machines de plus de 1000 chevaux, pour 250 tours par minute. La grande vitesse angulaire, jointe à la disposition verticale des bâtis, permet de réduire à un minimum très bas, toutes les fois que l'emplacement l'exige, l'encombrement des moteurs.

En même temps que sa puissance et sa facilité d'installation, la machine à vapeur a développé sa régularité et sa souplesse suivant les exigences d'un rôle qui prend d'année en année plus d'importance, celui d'engin moteur des usines génératrices d'électricité. De plus en plus fréquemment, en effet, sa tâche immédiate est de faire tourner une machine dynamo-électrique, soit qu'il s'agisse de produire la lumière, soit que l'électricité intervienne comme agent de transmission et de distribution d'énergie entre le moteur à vapeur et les machines-outils ou autres appareils dont, finalement, le travail mécanique est utilisé. Pour ce genre de service, on exige du moteur une extrême régularité de rotation : la vitesse, durant un tour, ne doit s'écarter de sa valeur moyenne que d'une fraction minime, inférieure à celle dont s'accommodent les filateurs, et cette moyenne doit pouvoir être maintenue constante quelles que soient les variations de la résistance; dans le cas particulier où il s'agit de faire fonctionner un alternateur en parallèle avec d'autres, cette constance de l'allure doit être conciliée avec la stabilité de la répartition du travail entre les différentes unités. Par contre, pourvu que le moteur à vapeur satisfasse à ce programme, c'est l'électricité qui se charge de la division et de la répartition de la puissance produite; c'est elle qui assure à chacun des appareils récepteurs les qualités nécessaires : docilité, commodité d'emploi, variabilité de régime, et, au besoin, mobilité.

On tend ainsi à concentrer la production de la force motrice dans un petit nombre de grandes unités, que l'on a intérêt à doter de la plus grande somme possible de perfectionnements.

La plupart de ceux-ci se rattachent étroitement aux progrès généraux de la métallurgie et de la construction mécanique. D'une manière générale, les appareils sont mieux construits qu'autrefois : c'est un mérite dont l'industrie comprend de jour en jour plus clairement les avantages. Actuellement, les bons constructeurs ne négligent rien pour s'approcher aussi près que possible de la perfection technique. La qualité des matériaux est soigneusement spécifiée dans des cahiers des charges détaillés, contrôlée par des

épreuves sévères. La chaudronnerie emploie des tôles de nature extra-douce, des tubes de fabrication supérieure. Le métal est traité avec ménagement, les trous de rivets sont forés après assemblage provisoire des parties, les rivures se font à la machine hydraulique; on réduit au minimum le matage, si on ne le supprime complètement. Dans l'exécution des machines, chacune des pièces est faite du métal le mieux approprié, avec un grand luxe de choix : acier forgé et recuit pour les arbres, les bielles, les tiges de piston, souvent trempé ou cémenté pour certains axes; pour les parties coulées, fontes de fer soigneusement composées et, toutes les fois qu'il y a lieu, moulages d'acier; pour les coussinets, alliages spéciaux, exactement dosés et coulés à température bien définie.

Des machines-outils de grande puissance et de haute précision opèrent l'alésage des cylindres et des glissières, l'usinage des pièces de forge. Le finissage est effectué à l'aide de calibres et de mandrins en acier trempé et rectifié, fréquemment étalonnés et permettant d'atteindre couramment la précision du centième de millimètre, de manière à assurer aux exemplaires d'une même pièce cette qualité précieuse, de plus en plus appréciée et mise à profit, d'être interchangeables. Les emmanchements sont effectués à la presse hydraulique sous des forces considérables. Les travaux d'ajustage et de montage sont accompagnés de scrupuleuses vérifications.

Ce soin de la construction, qui caractérise la mécanique moderne, intéresse à la fois la sécurité, la régularité de fonctionnement, la durée des appareils. Il ne réagit pas d'une manière moins heureuse sur leur rendement.

Rappelons brièvement quelle est, sous ce dernier point de vue, la situation présente.

Les températures les plus extrêmes entre lesquelles évoluent l'eau et sa vapeur sont 400 degrés et 30 degrés, en supposant l'emploi d'une très haute surchauffe et d'un excellent condenseur. La limite supérieure est imposée par la nécessité d'éviter le grippement du mécanisme; elle dépend des dispositions du récepteur et des qualités de la substance lubrifiante. Si l'on veut éviter les complications inhérentes à la surchauffe, on reste bien au-dessous de cette limite : la vapeur d'eau, à l'état de saturation, prend en effet, à partir de 200 degrés, des pressions considérables, rapidement croissantes avec la température : égale déjà à 16 kilogrammes par centimètre carré pour 200 degrés, elle s'élève à 20 kilogrammes pour 211 degrés, à 25 kilogrammes pour 223 degrés; de telles pressions sont difficiles à manier. Quant à la limite inférieure, elle est essentiellement liée aux propriétés physiques de l'eau, dont la tension de vapeur, à 30 degrés, n'a plus qu'une valeur minime : 40 grammes par centimètre carré. Plus on emploierait comme fluide évoluant un liquide volatil à basse température, plus on serait maître de réduire cette limite inférieure. Avec la vapeur d'eau, la température du condenseur se tient d'ordinaire aux environs de 35 degrés. Dans un certain nombre de cas, l'emploi de la condensation est impraticable : la limite inférieure de température dans la partie utilisable de l'évolution est alors d'au moins 100 degrés.

Le coefficient économique du cycle de Carnot, maximum de celui des cycles réalisables, a pour valeur :

Entre	400 et 30 degrés	0,55
	200 et 35 degrés	0,35
	200 et 100 degrés	0,21

Mais tout n'est pas dit, tant s'en faut, sur le rendement thermique d'un moteur, lorsqu'on a calculé le coefficient économique du cycle de Carnot correspondant. L'évolution réelle a lieu suivant un cycle dont, en pratique, le coefficient économique est toujours moindre et elle comporte une série de pertes qui imposent une valeur fort différente au rendement.

Tout d'abord, dans la machine à vapeur, une perte importante est relative au fonctionnement de la *source chaude,* c'est-à-dire du générateur. Celui-ci est loin de transmettre au fluide évoluant la totalité de la chaleur que dégagerait, dans la bombe calorimétrique, une oxydation complète du combustible. Outre que la combustion s'opère à pression constante, elle demeure toujours quelque peu imparfaite. Puis, la chaleur réellement dégagée n'est pas intégralement transmise à l'eau par l'intermédiaire des parois métalliques de l'appareil. Une fraction notable est emportée à la cheminée par les gaz de la combustion. Une autre fraction est rayonnée en pure perte par le fourneau. Quelques calories sont encore emportées inutilement avec les cendres et les escarbilles. La tuyauterie joignant le générateur au récepteur donne lieu à un rayonnement qui n'est pas toujours négligeable. Bref, par rapport au pouvoir calorifique du combustible, le rendement du générateur, tuyauterie comprise, varie généralement de 60 à 70 p. 100.

Pour élever ce rendement au maximum, les moyens sont, d'une part, de brûler le combustible aussi complètement que possible, d'autre part, de réduire les déperditions. Une fraction de l'énergie doit nécessairement être affectée à produire le tirage, c'est-à-dire à effectuer un véritable travail mécanique. Dans le système du tirage naturel, c'est la chaleur des gaz de la cheminée qui est chargée de produire ce travail. Avec un tirage artificiel, les gaz peuvent être dépouillés plus complètement de leur chaleur; un plus grand nombre de calories est recueilli par la surface de chauffe, et le rendement du générateur s'élève; mais le travail mécanique nécessaire au tirage doit être ensuite redemandé, sous une forme ou sous une autre, à la vapeur produite. Ce qui importe, c'est d'abaisser la température des gaz, au contact de la surface de chauffe, autant que le permet le système de tirage employé, et de diminuer le plus possible le rayonnement extérieur de l'appareil.

Au générateur, fait suite le récepteur : là s'accomplit la transformation, en travail, d'une partie de la chaleur de la vapeur. Dans une machine dont les parois seraient imperméables à la chaleur, cette fraction serait celle indiquée par le cycle théorique : non le cycle de Carnot, mais, pour la machine à vapeur saturée, celui de Rankine. Dans cette hypothèse, la quantité de vapeur à dépenser pour produire l'unité de travail

serait accessible au calcul : M. Rateau a dressé un abaque (fig. 1) qui en fournit la valeur en fonction des pressions extrêmes. Une théorie analogue peut être faite, et un abaque dressé, pour le cas où la vapeur serait prise à un état déterminé de surchauffe, mais toujours dans l'hypothèse du récepteur réfractaire à toute pénétration ou communication de chaleur.

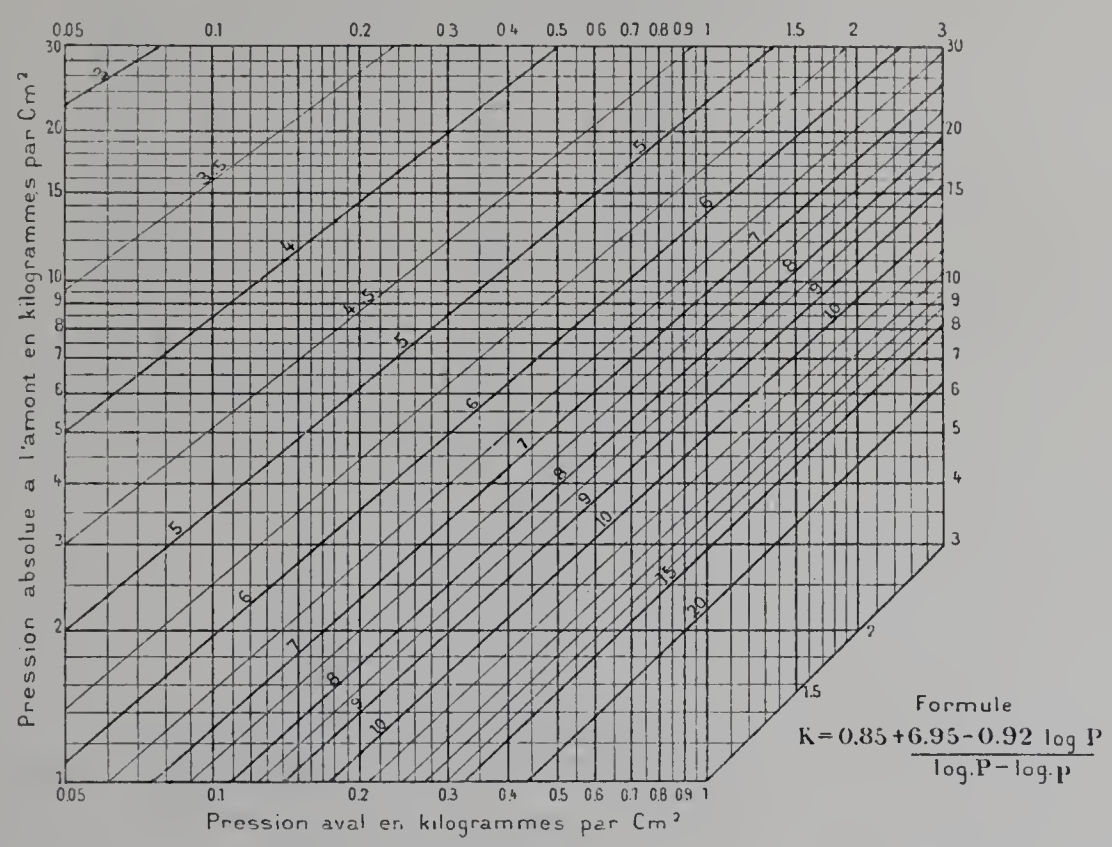


Fig. 1. — Abaque des consommations théoriques d'un moteur à vapeur saturée fonctionnant suivant le cycle de Rankine.

Or, cette hypothèse est éloignée de la vérité, au moins lorsqu'il s'agit des moteurs à piston tels qu'on les établit aujourd'hui. Entre la vapeur et les parois de fonte qui l'environnent, les échanges de chaleur ne sont, à la vérité, que fort peu actifs tant que les parois sont entièrement sèches; mais il suffit que celles-ci soient tapissées d'une rosée provenant d'une condensation partielle de la vapeur pour que l'activité de ces échanges devienne considérable. Or, dans les cylindres sans enveloppe de vapeur et aussi, quoique à un moindre degré, dans ceux enveloppés de vapeur saturée à la pression de l'admission, la vapeur à son arrivée trouve des parois refroidies par la période d'échappement précédente et il se fait, pendant l'admission, une condensation plus ou moins importante; la réévaporation partielle qui accompagne la détente ne suffit pas à assécher le métal; le début de l'échappement trouve donc le cylindre humide et s'accompagne d'une vive évaporation qui précipite au condenseur, en pure perte, une quantité notable de chaleur. Cette *perte au condenseur,* connue depuis Hirn, a été dans ces derniers temps l'objet d'études et d'expériences qui ont jeté sur les phénomènes de nouvelles et vives clartés. Le fait des condensations et vaporisations successives à l'intérieur du cylindre pouvait être observé à l'Exposition, M. Bryan Donkin ayant bien voulu

monter, sur une des machines en activité de la section anglaise, celle de MM. Robey et Cie, son curieux *révélateur* (fig. 2 et 3).

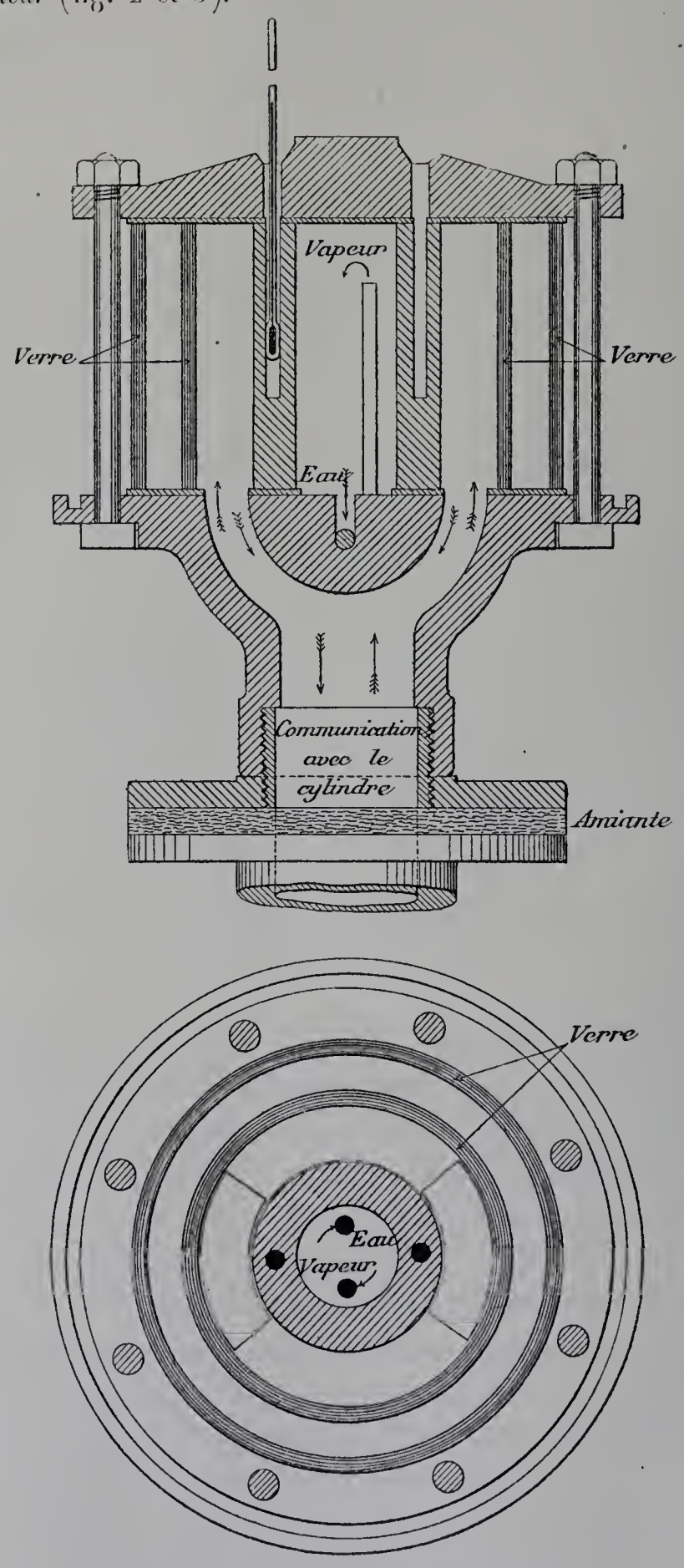


Fig. 2 et 3. — Révélateur de Bryan Donkin.

En outre de la perte au condenseur, tenant aux calories que les parois du cylindre soutirent et restituent intempestivement à la vapeur, le récepteur comporte encore une

perte par rayonnement extérieur, que les revêtements calorifuges à lame d'air réduisent assez efficacement, mais ne peuvent supprimer. En fin de compte, la chaleur transformée en travail ne représente pas plus de 15 p. 100, 20 p. 100 au maximum, de celle incorporée par le générateur au fluide évoluant.

Les principaux moyens dont on dispose pour donner à cette fraction une valeur aussi élevée que possible résultent de ce qui vient d'être dit. Il convient à la fois de placer le moteur dans les conditions d'une faible consommation théorique et de réduire au minimum l'action nuisible des parois.

La consommation théorique est déterminée par l'état initial et par l'état final de la vapeur. Surchauffe à part, c'est dire qu'il est bon de partir d'une pression initiale aussi élevée que possible, tout en poussant la détente jusqu'à une pression finale aussi basse qu'on peut : la mesure du bénéfice se lit sur l'abaque des consommations théoriques. La médaille a, toutefois, un revers : les deux articles du programme ne sont pas indépendants. En exagérant le rapport de détente, on risque de trop accroître l'écart existant, durant l'admission, entre la température de saturation de la vapeur et la température des parois, d'avoir, par suite, trop de condensation initiale et conséquemment trop de perte au condenseur. Dans beaucoup de machines, une autre considération intervient d'ailleurs pour limiter le degré d'expansion réalisable dans un seul cylindre : tous les systèmes de distribution ne se prêtent pas également au raccourcissement de l'admission. De là est né le système de la double expansion, puis, à mesure qu'on a élevé la pression initiale et, avec elle, la détente totale de la vapeur, de la triple et parfois même de la quadruple expansion. La succession de plusieurs cylindres multiplie sans doute les actions de paroi, mais dans chacun d'eux cette action demeure faible, l'écart des températures n'étant pas exagéré; en fin de compte, à partir d'une certaine limite, qui varie selon le système de distribution et la valeur des espaces morts, l'expansion multiple est devenue le complément nécessaire de l'emploi des hautes pressions et elle fournit (l'expérience des machines de navigation l'a amplement démontré) d'excellents résultats économiques.

Entre des limites de pression données, un moyen de réduire la consommation théorique est de recourir à la surchauffe. Réserve faite des questions de réalisation pratique, dont nous avons déjà parlé, c'est, au point de vue du rendement thermodynamique du moteur, un procédé avantageux sous tous les rapports : car la surchauffe permet à la vapeur de perdre, durant l'admission, un certain nombre de calories en restant sèche.

Toutes choses égales quant à la consommation théorique, l'action de paroi est naturellement d'autant moins sensible dans un cylindre que l'étendue de la surface condensante y est moindre par rapport au volume occupé par la vapeur au cours de l'admission, c'est-à-dire que le cylindre est mieux proportionné et, aussi, pour une même forme, que sa capacité est plus grande. Les machines de grande puissance ont donc, à cet égard, un avantage sur les petits moteurs, du moins à égalité de vitesse angulaire. Un autre moyen de réduire la condensation initiale consiste à tourner vite : les échanges

de chaleur sont fonction du temps et il est clair que le raccourcissement de la période atténue les actions de paroi; c'est un avantage, ajouté aux autres, des machines à grande vitesse.

Enfin, un artifice dont les effets sont assez complexes, mais qui est évidemment efficace pour combattre la condensation à l'admission, consiste à réchauffer les parois par un apport extérieur de chaleur. Si on les maintenait continuellement au-dessus de la température de saturation de la vapeur sous la pression initiale, l'admission ne pourrait s'accompagner d'aucune condensation. Le procédé en usage consiste à environner le cylindre d'une enveloppe de vapeur saturée, ordinairement à la pression de l'admission. Ainsi produit, le réchauffage n'est pas tout à fait suffisant pour remplir la condition ci-dessus; il s'en faut d'autant plus que, par raison de simplicité, l'on s'abstient presque toujours de réchauffer le piston, dont la surface constitue une notable portion de la paroi. Malgré ce caractère un peu incomplet de la mesure, et bien que la chaleur fournie à l'enveloppe ne soit pas tout entière bien utilisée, l'expérience montre que les enveloppes de vapeur, convenablement disposées et parfaitement purgées, diminuent la consommation.

C'est l'emploi judicieux de ces divers moyens qui permet aujourd'hui aux constructeurs de machines puissantes et perfectionnées d'élever, d'une manière importante, le rendement thermodynamique du récepteur, c'est-à-dire son rendement en travail indiqué.

Il faut encore, pour passer au travail effectif, multiplier ce dernier par un facteur variant, pour les bonnes machines, de 0.8 à 0.9, afin de tenir compte des frottements et autres résistances passives qui dissipent, sous forme de chaleur, une fraction de la puissance créée, ainsi que du prélèvement afférent au travail des pompes chargées d'assurer le fonctionnement du condenseur et l'alimentation des chaudières. La perte due aux résistances passives est influencée par le poids et la vitesse des masses tournantes : c'est sous cette forme que le volant fait payer son action régulatrice. Par ailleurs, cette perte dépend principalement de l'étendue, des dispositions et de l'état des surfaces frottantes, ainsi que des mesures prises pour assurer leur lubrification : il y a là un ordre de mesures et de soins qui mérite, à tous égards, une sérieuse attention.

Finalement, dans de bonnes conditions courantes, une machine de 250 à 300 chevaux, à double expansion, alimentée de vapeur saturée à la pression effective de 8 kilogrammes par centimètre carré, fonctionnant à condensation et munie d'enveloppes de vapeur, peut consommer, purges déduites, quelque chose comme 6 kilogr. 1/2 ou 7 kilogrammes de vapeur par cheval-heure indiqué, 8 kilogrammes par cheval-heure effectif. Supposons que le générateur vaporise, par kilogramme de houille brute à 8,000 calories, 8 kilogr. 1/2 d'eau, savoir 8 kilogrammes provenant du condenseur par mélange et 1/2 kilogramme provenant des purges. La consommation en combustible sera donc de 1 kilogramme de houille brute par cheval-heure effectif. Il revient au même de dire, en supposant que la houille renferme 10 p. 100 de cendres et d'humidité, et en prenant 0,85 pour valeur du rendement organique, 760 grammes de charbon pur et sec par cheval-heure indiqué.

C'est à ces hypothèses que se rapporte la fig. 4, dressée, à titre de simple exemple,

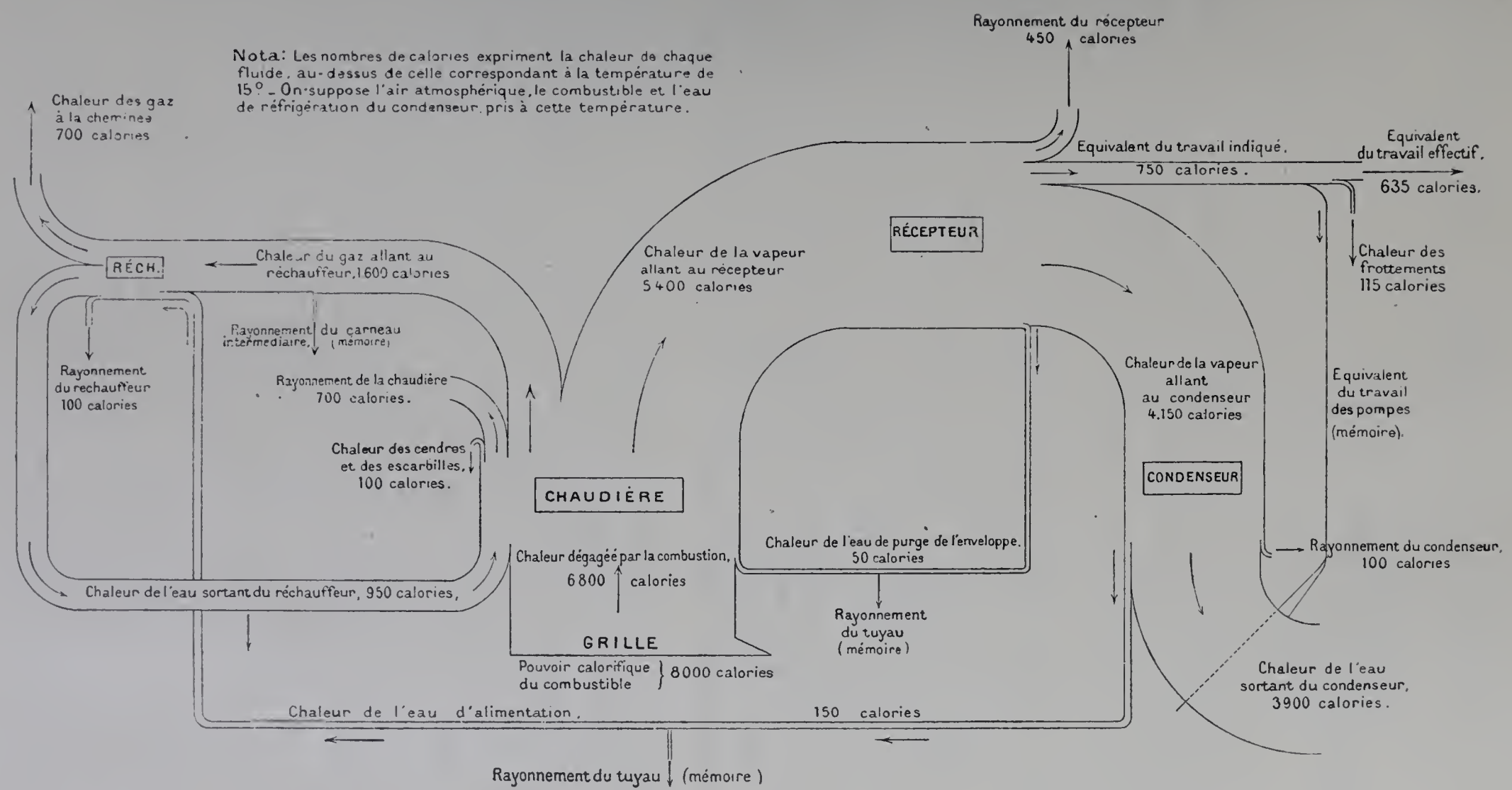


Fig. 4. — Exemple du fonctionnement thermodynamique d'une machine à vapeur consommant 1 kilogramme de houille brute par cheval-heure effectif.

pour fixer les idées sur l'ordre de grandeur des quantités de chaleur en jeu. Le rendement global du système est, dans ce cas particulier, de 8 p. 100; il se décompose ainsi :

Rendement	du générateur	0,65
	thermodynamique du récepteur	0,15
	organique	0,85
	global : 0,65 × 0,15 × 0,85	0,08

Une puissance considérable, une forte pression initiale combinée avec la triple expansion, une construction particulièrement soignée de toutes les parties du système, sont susceptibles d'élever notablement plus haut le rendement thermodynamique du récepteur. Le minimum pratique de la consommation de vapeur, pour les grandes machines réunissant toutes ces conditions, paraît être d'environ 5 kilogrammes par cheval-heure indiqué. La surchauffe permet de descendre plus bas encore. On cite les machines de 3,000 chevaux à triple expansion, établies par MM. Sulzer frères à l'usine d'électricité de la *Luisenstrasse,* à Berlin, comme ne consommant, par cheval-heure indiqué, que 4 kilogr. 270 de vapeur à la pression effective de 12 kilogrammes par centimètre carré et à la température de 306 degrés, c'est-à-dire surchauffée de 116 degrés. C'est une dépense de 3,080 calories par cheval-heure indiqué, c'est-à-dire un rendement thermodynamique de 0.21. D'autres machines à vapeur surchauffée, l'une de 1,000 chevaux, construite par M. Ringhoffer, l'autre de 400 chevaux seulement, mais à haute surchauffe (vapeur à 388 degrés), œuvre de MM. Stork frères, paraissent dépenser par cheval-heure indiqué 3,400 calories, soit un rendement de 0.19.

Les turbines à vapeur, qui, dans leur constitution actuelle, ne se prêtent évidemment pas à une variété de fonctions ni d'allures comparable à celle des récepteurs à mouvement alternatif, mais qui conviennent particulièrement à certaines applications, ont, en principe, sous le rapport du rendement thermodynamique, deux avantages importants : la détente peut y être poussée jusqu'à la pression même du condenseur et elle est sensiblement adiabatique. Les pertes principales résultent des frottements du fluide, ainsi que de l'énergie cinétique que celui-ci conserve encore au sortir de la turbine. Dans les débuts, ces appareils ont été de terribles consommateurs de vapeur. On les faisait fonctionner à échappement libre, alors qu'il y a un bénéfice considérable à profiter du travail disponible aux basses pressions et à faire tourner dans un milieu aussi raréfié que possible tout ou partie du système. Aujourd'hui, l'on se rend un compte beaucoup plus exact des conditions favorables à l'économie de leur emploi et, bien que ce genre de machines n'ait pas dit son dernier mot, la consommation de certaines turbines s'approche, d'une manière tout à fait remarquable, de celle qu'exigent les meilleurs moteurs à piston pour des services similaires.

C'est ainsi qu'une turbine de Laval de 300 chevaux, à condensation, alimentée par de la vapeur surchauffée à la pression effective de 13 kilogr. 1/2 et à la température de 240 degrés, paraît avoir consommé 6 kilogrammes 330 de vapeur par cheval-heure

effectif. Malgré les valeurs élevées de la pression et de la surchauffe, on ne pourrait guère supposer moins pour une machine à piston de même puissance.

Dans un essai effectué par MM. Lindley, Schröter et Weber sur l'un des turbo-alternateurs de 1,000 kilowatts construits par MM. C.-A. Parsons et Cie pour l'usine d'électricité d'Elberfeld, la dépense à pleine charge, pour 1,190 kilowatts, a été de 8 kilogr. 810 par kilowatt-heure. C'était de la vapeur à la pression effective d'environ 9 kilogrammes par centimètre carré, surchauffée seulement de 10°2, soit de la vapeur à 666 calories par kilogramme. Or, une machine à piston de cette puissance qui dépenserait, par cheval-heure indiqué, 5 kilogrammes de la même vapeur, qui aurait un rendement organique de 0,9 et qui actionnerait un alternateur ayant un rendement de 0,93 (toutes données excellentes), consommerait 8 kilogrammes par kilowatt-heure. L'écart n'est que de 10 p. 100.

Avant de passer de ces indications générales au compte rendu de la Classe 19, il nous reste à acquitter plusieurs dettes de reconnaissance.

D'excellentes publications, relatives aux appareils exposés dans cette Classe, ont précédé l'impression du présent rapport. Les renseignements et les dessins qu'elles contiennent ont été, en partie, pris au fond commun des notices et des documents que les exposants avaient fournis soit au jury, soit au public; on y trouve aussi, en abondance, d'intéressantes observations personnelles. Du tout, nous avons fait profit. C'est particulièrement un devoir pour nous de citer la substantielle étude de M. G. de Doepp sur les générateurs de vapeur [1]; les articles de M. A. Stodola sur les machines [2]; la *Revue de la construction des machines en l'an 1900*, de M. E. Sauvage [3]; la conférence donnée par M. Ch. Compère devant la Société des ingénieurs civils de France [4]; les publications spéciales des librairies Dunod et Bernard [5]. Parmi les fascicules édités par Mme veuve Dunod, ceux dus à M. Gabriel Eude et traitant, l'un des machines à vapeur, l'autre des installations mécaniques, nous ont été particulièrement précieux; l'auteur et l'éditeur ont bien voulu nous permettre d'y puiser un grand nombre de figures. Nous avons pu ainsi compléter, de la manière la plus utile, l'illustration de ce volume.

Parmi les héliogravures que l'on trouvera ci-après, un certain nombre reproduisent des documents photographiques qui nous ont été obligeamment remis par les exposants; mais beaucoup proviennent de clichés pris, d'après nos indications, par M. Peignot, préparateur de cours de physique au Conservatoire national des Arts et Métiers. Nous devons les plus vifs remercîments à ce physicien doublé d'un artiste : c'est grâce à son habileté que se trouvent fixés, avec la physionomie générale de la Classe, les principaux aspects caractéristiques des machines.

(1) *Die Dampfkessel auf der Weltausstellung in Paris 1900.* — Freiberg, Craz et Gerlach.

(2) *Die Dampfmotoren an der Weltausstellung in Paris 1900.* — Schweitzerische Bauzeitung, Bd. XXXVI, 1901. nos 17 à 25.

(3) *Annales des Mines*, 9e série, t. XIX et XX, 1901.

(4) *Les chaudières et les machines à l'Exposition de 1900.* Mémoires de la Société des ingénieurs civils, bulletin de janvier 1901.

(5) *La Mécanique à l'Exposition de 1900.* Vve Ch. Dunod, éditeur, 1900-1902. — *Revue technique de l'Exposition universelle de 1900*, sous la direction de M. Ch. Jacomet. — Paris, E. Bernard et Cie.

IMPRIMERIE NATIONALE.

CHAPITRE PREMIER.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX DES COMITÉS DE LA SECTION FRANÇAISE ET DU JURY INTERNATIONAL.

Admission et installation dans la section française. — Pour la section française, l'admission des exposants et l'installation de la Classe eurent lieu par les soins de deux comités dont il suffira de résumer brièvement les travaux.

Comité d'admission. — Le premier de ces comités, celui d'admission, fut institué par arrêté ministériel du 7 octobre 1897. Dans sa première séance, tenue le 8 décembre de la même année, il procéda à l'élection de son bureau. Complété par deux arrêtés ministériels ultérieurs (14 avril et 12 juin 1898), il se trouva définitivement formé de trente-six membres et composé ainsi qu'il suit :

MM. Hirsch, *président;* Liébaut, *vice-président;* Walckenaer, *rapporteur;* Compère, *secrétaire;* Berrier-Fontaine, Bichat, Biétrix, Bougarel, Buffaud, Cordier, Crépelle, Debize, Demange, Dujardin, Durenne, Duval, Duveaux, Dyckhoff, Farcot, Garnier, Guyot-Sionnest, Imbert, Lotz-Brissonneau, Mariolle-Pinguet, Massart, Michel-Lévy, Müller, Olry, Pérocheau, Pichon, Piguet, Ponchez, Ricaud, Roser, Sauvage, Stapfer, *membres.*

La tâche de ce comité ne se borna pas à l'examen des demandes d'admission. Avant d'être juge, il se fit promoteur. Par des circulaires successives adressées aux constructeurs français, il s'efforça de susciter les demandes le plus longtemps possible avant l'Exposition; il stimula le zèle des retardataires; il fit entendre un appel spécial en faveur de l'exposition rétrospective centennale. Désireux de faciliter le plus possible aux industriels l'envoi des appareils admis à figurer à l'Exposition, il s'entremit auprès des compagnies de chemins de fer et fut assez heureux pour obtenir une réduction des tarifs afférents au transport des masses indivisibles de grand poids et de grand volume.

L'examen des demandes d'admission fut effectué à deux degrés.

Une première étude de ces demandes eut lieu par les soins de quatre commissions, entre lesquelles les membres du Comité se partagèrent, et auxquelles furent soumises respectivement les affaires relatives aux chaudières, aux machines, aux appareils accessoires (le tout pour l'exposition contemporaine), enfin à l'exposition centennale[1].

[1] Les présidents et les secrétaires de ces commissions furent respectivement : 1re commission (chaudières), MM. Michel-Lévy, *président;* Imbert, *secrétaire;* 2e commission (machines), MM. Garnier, *président;* Massart, *secrétaire;* 3e commission (appareils accessoires), MM. Debize, *président;* Muller, *secrétaire;* 4e commission (exposition centennale), MM. Durenne, *président;* Sauvage, *secrétaire.*

Au début de chaque séance du Comité, les demandes en instance étaient réparties entre les commissions. Puis le Comité suspendait sa séance jusqu'à ce que celles-ci, travaillant chacune à part, eussent examiné les dossiers de leurs spécialités respectives. A la reprise, le Comité entendait successivement les rapports qui lui étaient faits au nom des commissions, délibérait sur chaque affaire et, autant que possible, votait immédiatement. On ne réservait pour les séances ultérieures que les demandes qui réclamaient un supplément d'instruction. Grâce à ce mode de travail et à l'activité de chacun, huit séances du Comité suffirent.

Le présent rapport n'a pas à parler de l'exposition centennale. Pour l'exposition contemporaine, 235 demandes d'admission ont été présentées. Sur ce nombre, 192 demandes, émanées de 178 signataires distincts, furent favorablement accueillies; toutefois, pour 35 d'entre elles, l'admission n'a été que partielle en ce qui concerne la Classe 19, une partie des objets qu'elles visaient ne ressortissant pas à cette classe. Quelques demandes, au nombre de 14, durent être déclassées en totalité; 15 furent annulées comme faisant double emploi avec d'autres; 4 furent retirées par leurs auteurs. Il y eut enfin 10 rejets proprement dits.

Il convient de mentionner, comme ayant été l'objet de la sollicitude du Comité d'admission de la Classe 19 et des soins personnels d'une partie de ses membres, l'organisation du Congrès international de mécanique appliquée. Dès sa séance du 29 octobre 1898, sur l'initiative de son président, le Comité avait émis l'avis qu'il y aurait lieu de provoquer la réunion d'un congrès de mécanique; il avait invité son bureau à faire le nécessaire pour la réalisation de ce vœu. S'empressant de déférer à cette invitation, le président, le secrétaire et le rapporteur du Comité furent au nombre des 10 promoteurs du congrès, dont la commission d'organisation a été ensuite constituée par arrêté ministériel du 18 mars 1899 et qui, du 19 au 25 juillet 1900, a tenu ses brillantes assises sous la présidence de M. Haton de La Goupillière [1].

Comité d'installation. — A l'œuvre du Comité d'admission succéda celle du Comité d'installation.

Conformément aux articles 50 et 54 du décret du 4 août 1894, portant règlement général pour l'Exposition universelle de 1900, et au décret du 29 juin 1899 relatif à l'organisation de l'exposition centennale, ce Comité fut composé :

1° Des quatre membres du bureau du Comité d'admission;

2° De quatre membres du Comité d'admission, nommés par M. le Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, savoir : MM. Bougarel, Dujardin, Garnier et Muller;

3° De deux autres membres du même Comité désignés par M. le Ministre pour concourir à l'installation de l'exposition centennale, savoir : MM. Durenne et Sauvage;

[1] Les rapports présentés à ce congrès et les comptes rendus de ses séances ont été publiés *in extenso* (Vve Ch. Dunod, éditeur, 1900-1901.)

4° Enfin, de quatre membres élus par les exposants et choisis parmi eux : ce furent MM. Augustin Farcot, Roser, Chaligny et Biétrix.

Le vote par correspondance, qui eut lieu pour la désignation de ces quatre derniers, fut dépouillé le 5 juin 1899, devant le bureau et les membres déjà nommés.

Le 12 du même mois, le Comité d'installation, définitivement constitué, tenait sa première séance. Il élisait à l'unanimité M. Émile Garnier pour son trésorier. Il reconnaissait la nécessité d'attacher au service de la Classe un ingénieur chargé d'exécuter les travaux collectifs de l'installation : dans sa séance suivante, tenue le 13 juillet, il désignait pour ces fonctions, après examen des candidatures qui s'étaient produites, M. Émile Eude, ingénieur des arts et manufactures. Jusqu'à l'ouverture de l'Exposition, il tint cinq séances plénières. Mais l'installation d'une classe comme celle des machines à vapeur, où il fallait juxtaposer sans désordre, en tenant compte de l'état d'avancement des divers travaux, les objets les plus complexes et les plus divers, depuis des unités motrices de plus de 1,000 chevaux jusqu'à des vitrines de menus accessoires, n'était pas seulement une affaire de délibérations et de décisions à prendre dans la tranquillité d'une salle de conseil. Les mesures à prescrire, la surveillance à exercer, l'action de présence nécessaire étaient de tous les jours et de tous les instants. Ce fut l'œuvre du président, du secrétaire et de l'ingénieur de la Classe : le succès fut le fruit de leurs peines et de leur dévouement.

L'une des questions les plus délicates dont le Comité, son bureau et son ingénieur aient eu à s'occuper, l'une de celles qui ont nécessité le plus d'études et d'efforts, a été la répartition, entre les exposants admis, des espaces affectés à la Classe 19. Comme entrée de jeu, les emplacements demandés par les exposants, en dehors des groupes électrogènes et des chaudières destinées à alimenter ces groupes, s'élevaient à 3,885 mètres carrés; les surfaces attribuées par l'Administration à la Classe étaient de 3,170 mètres carrés, y compris les chemins, ce qui ne faisait, chemins déduits, que 1,718 mètres carrés, dont 1,298 au rez-de-chaussée et 420 à l'étage. C'était 44 p. 100 de l'étendue demandée, avec cette circonstance aggravante que la répartition entre le rez-de-chaussée et l'étage était loin d'être arbitraire : la plupart des objets exposés, vu leur nature et leur poids, ne pouvaient prendre place qu'au niveau du sol. Il a fallu s'ingénier de toutes les manières. A la suite de la séance tenue par le Comité le 13 juillet 1899, le président, le secrétaire et l'ingénieur de la Classe se livrèrent à un long travail de patience pour tâcher, à force de rapprocher les objets et de combiner la juxtaposition des stands comme celle des dés d'une mosaïque, de faire tout tenir dans l'étendue proposée. En réduisant au minimum les passages entre les divers appareils présentés par chaque exposant, ils purent, dans une certaine mesure, atténuer la disproportion entre les 3,825 mètres carrés demandés et les 1,718 mètres carrés offerts. Mais, toutes réductions opérées et poussées jusqu'à la plus extrême limite, il restait au rez-de-chaussée un déficit irréductible de 320 mètres carrés. Encore l'avant-projet ainsi établi, exagérément compact, était-il loin de donner satisfaction à ses auteurs.

En présence de cette situation, l'Administration voulut bien accorder à la Classe les emplacements suivants qui n'avaient pas été compris dans l'affectation primitive :

1° 170 mètres carrés environ, en plein air, au pied de la grande cheminée de l'usine La Bourdonnais ;

2° Deux espaces de $8^{m}50 \times 2^{m}90$, prélevés sur la largeur d'un chemin, à l'extrémité de cette même usine ;

3° 50 mètres carrés dans la galerie des groupes électrogènes.

L'espace en plein air concédé au pied de la grande cheminée fut affecté à des chaudières et autres objets volumineux : ce ne fut pas sans regret que le Comité se vit contraint de diviser, par cette mesure, l'exposition de certains constructeurs en deux parties, l'une dans le palais, l'autre en plein air.

D'autre part, afin de faciliter la tâche du Comité, la maison Delaunay-Belleville et Cie donna l'exemple de l'abnégation : elle avait demandé, dans le palais de la mécanique, un emplacement de 91 mètres carrés; elle consentit à le réduire à 21 mètres carrés seulement.

A force de concessions, de sacrifices et d'ingéniosité, l'on est, en fin de compte, parvenu à caser tous les exposants de la section.

Dépenses générales de l'installation. — Une autre tâche du Comité, dont il est nécessaire de dire quelques mots, fut la gestion financière nécessitée par les dépenses générales de l'installation.

Lors de l'Exposition universelle de 1889, le Comité d'installation de la Classe 52 (mécanique générale) avait demandé aux exposants, pour faire face aux dépenses de la Classe, une provision de 35 francs par mètre carré, sur lesquels 14 francs avaient été rendus en fin de compte; les frais s'étaient donc élevés à 21 francs par mètre carré en moyenne. Toutefois, ce versement n'avait pas été imposé aux exposants fournisseurs de vapeur, qui n'avaient eu à payer qu'un droit fixe.

Par analogie avec ce précédent, le Comité décida que les exposants de générateurs appelés à concourir à la production de la vapeur seraient exonérés de la participation commune aux dépenses de la Classe et n'auraient à payer qu'un droit fixe de 45 francs pour l'inscription au catalogue. Un régime spécial dut être appliqué aussi, dans la galerie de 30 mètres, aux exposants des groupes électrogènes : les frais d'installation de ces groupes intéressaient à la fois la Classe 19 et la Classe 23. Un accord intervint entre les Comités d'installation de ces deux Classes, sur les bases suivantes : on admit que, dans chaque exposition de cette galerie, la partie mécanique (Classe 19) occupait deux tiers et la partie électrique (Classe 23) un tiers de la surface occupée; les exposants eurent à payer 10 francs par mètre carré de surface totale occupée, à titre de contribution définitive aux frais généraux des deux Classes; ils conservèrent la charge d'établir par leurs soins et à leurs frais les parquets, les raccords de parquets jusqu'aux chemins généraux, les canalisations, les garde-corps, balustres et autres installations spéciales. Quant au gardiennage, il fut convenu que la Classe 19 serait chargée de

l'assurer dans la partie Est de la galerie et la Classe 23 dans la partie Ouest, la limite étant fixée au chemin transversal MM (fig. 7).

Pour les autres exposants, les questions de dépenses furent réglées comme il suit.

L'Administration prit à sa charge l'établissement des planchers des chemins généraux. D'autre part, le Comité laissa à ceux d'entre les exposants qui désiraient présenter des machines en état de fonctionner, l'initiative et la responsabilité des mesures à prendre pour les canalisations d'amenée et d'échappement de vapeur propres à chaque stand ou à chaque groupe de stands : les intéressés eurent à s'entendre entre eux à cet effet, et le rôle du Comité se borna, par les soins de son président, à faciliter cette entente, mais sans directement y intervenir.

Cela posé, après avoir pris connaissance des diverses dépenses à prévoir à la charge de la Classe, le Comité fixa la provision à demander aux exposants établis dans le palais de la mécanique à 45 francs par mètre carré de surface occupée au rez-de-chaussée. 30 francs par mètre carré de surface à l'étage, 30 francs par mètre courant de surface murale d'une hauteur maximum de 3 mètres. Pour les emplacements situés en dehors du palais, il fut demandé 20 francs par mètre carré de surface couverte et 5 francs seulement par mètre carré de surface en plein air.

Les provisions ainsi versées s'élevèrent à 77,816 fr. 90. Après la clôture et la dislocation de l'Exposition, dans une dernière séance tenue le 15 février 1901, le Comité reconnut qu'il était en mesure d'en restituer 43 p. 100, soit 33,461 fr. 27.

En fin de compte, les exposants établis au rez-de-chaussée du palais de la mécanique, par exemple, qui avaient versé, à titre de provision, 45 francs par mètre carré, eurent à supporter une dépense réelle de 45 francs moins 19 fr. 35, c'est-à-dire de 25 fr. 65. Ce chiffre, correspondant à la provision la plus élevée, est assez analogue à celui de 21 francs payé par les exposants de 1889.

Installation des sections étrangères. — Les détails qui précèdent ont trait seulement à la section française. Dans les sections étrangères, l'admission des exposants et les installations eurent lieu, pour chaque nation, par les soins de son gouvernement et de son commissariat général.

Opérations du Jury international. — Nommé, conformément au Règlement général de l'Exposition, par décret du 15 mai 1900, en ce qui concerne les jurés français, et complété par les jurés étrangers que désignèrent leurs gouvernements respectifs, le jury international de la Classe 19 consacra ses deux premières séances, tenues dans les salles du Commissariat général, à l'élection de son bureau. A la suite de la seconde de ces séances, le 28 mai 1900, il se trouva définitivement constitué comme l'indique la liste placée en tête de ce rapport.

Il ouvrit ses travaux dès le 6 juin au matin. Il tint, de cette date au 29 juin, dix-neuf séances.

La méthode de travail était la suivante. Le jury se réunissait dès le commencement

de la matinée à la bibliothèque technologique du Groupe IV. Quelques observations échangées, l'ordre des visites du jour rappelé ou arrêté définitivement, on se mettait immédiatement en marche pour procéder aux visites, examiner minutieusement les appareils, écouter les explications des exposants. Dans l'après-midi, quand le programme des visites du jour était épuisé, le jury reprenait séance à la bibliothèque technologique. Il entendait son rapporteur sur chacune des expositions visitées, délibérait, votait une note. Après que tous les exposants eurent été ainsi cotés une première fois, le jury se livra à un travail approfondi de revision comparative. Des fiches, établies par les soins du bureau pour chaque exposant, précisaient les souvenirs, facilitaient les rapprochements et se prêtaient à l'établissement matériel d'une échelle de mérite qui fut enfin fixée par un vote définitif.

Nous parlons là, bien entendu, des opérations du jury de la Classe. Le travail de cette assemblée fut ensuite soumis au jury de groupe, puis intervint en dernier ressort le jury supérieur.

Parmi les exposants, 31 se trouvaient hors concours; leur répartition par nation était la suivante : France, 23; Allemagne, 2; Belgique, 1; Grande-Bretagne, 1; Hongrie, 1; Italie, 2; Pays-Bas, 1. Les récompenses obtenues par les autres sont résumées, pour chaque nation, dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION DES PAYS.	GRANDS PRIX.	MÉDAILLES D'OR.	MÉDAILLES D'ARGENT.	MÉDAILLES DE BRONZE.	MENTIONS HONORABLES.	TOTAUX.
France	7	15	32	40	17	111
Allemagne	4	5	5	4	3	21
Autriche	4	3	1	1	//	9
Belgique	4	5	4	3	//	16
Danemark	//	//	//	//	1	1
États-Unis	//	3	8	6	6	23
Grande-Bretagne	3	4	5	3	2	17
Hongrie	1	1	//	//	//	2
Italie	1	//	//	//	1	2
Monaco	//	//	//	//	1	1
Norvège	//	1	1	//	//	2
Pays-Bas	//	1	//	//	//	1
Russie	1	3	//	1	1	6
Suède	1	1	1	//	1	4
Suisse	2	1	//	//	//	3
TOTAUX	28	43	57	58	33	219

CHAPITRE II.

ENSEMBLE DE LA CLASSE.

Emplacements. — Un mot d'abord sur l'ensemble des emplacements affectés à la Classe.

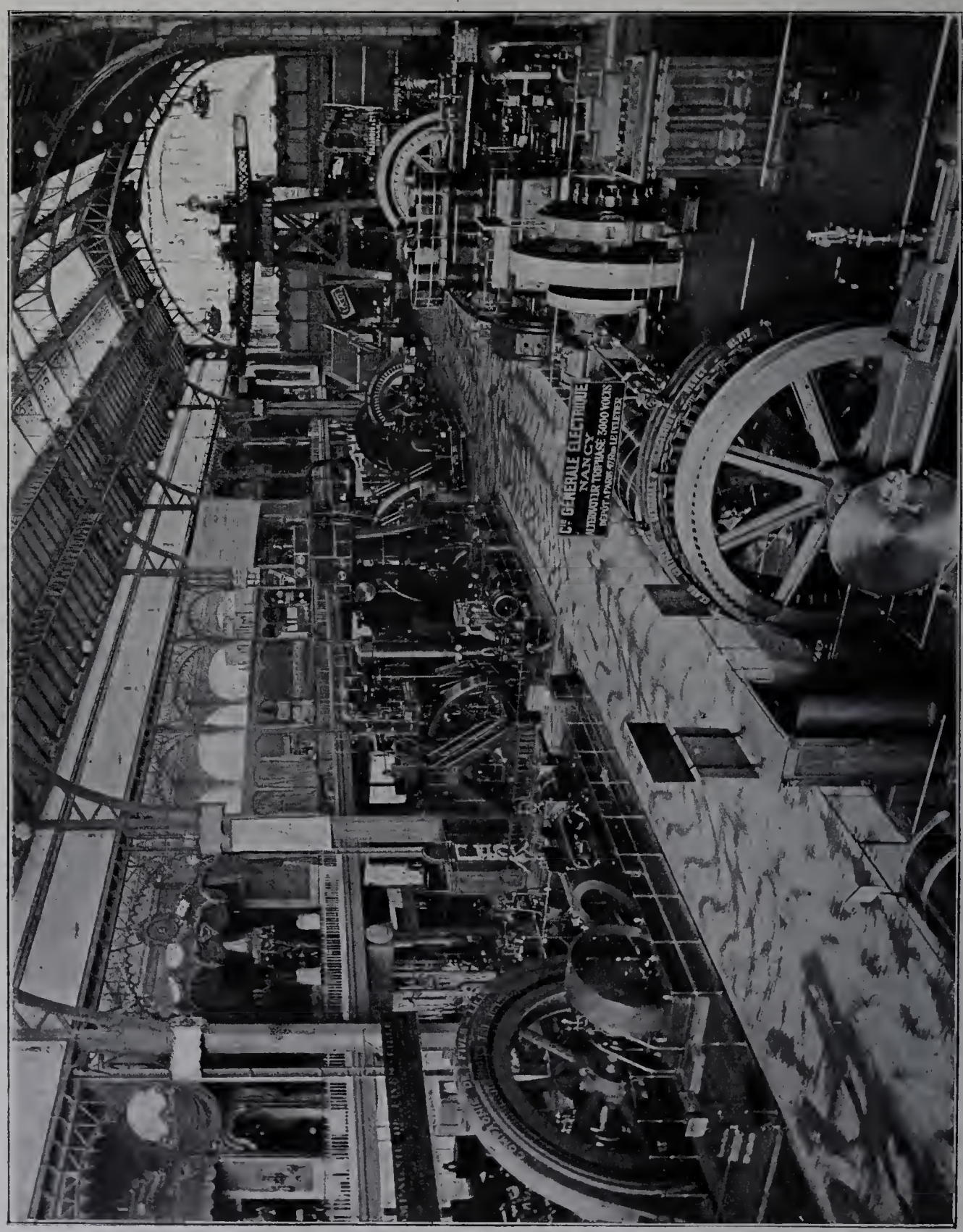


Fig. 5. — Vue générale de la galerie des groupes électrogènes, section française.

Les chaudières desservant les groupes électrogènes furent placées dans les deux cours, longues chacune de 117 mètres et larges de 40 mètres, situées de part et d'autre

du palais de l'électricité, le long du palais de l'agriculture et des aliments (ancienne galerie des machines de l'Exposition de 1889).

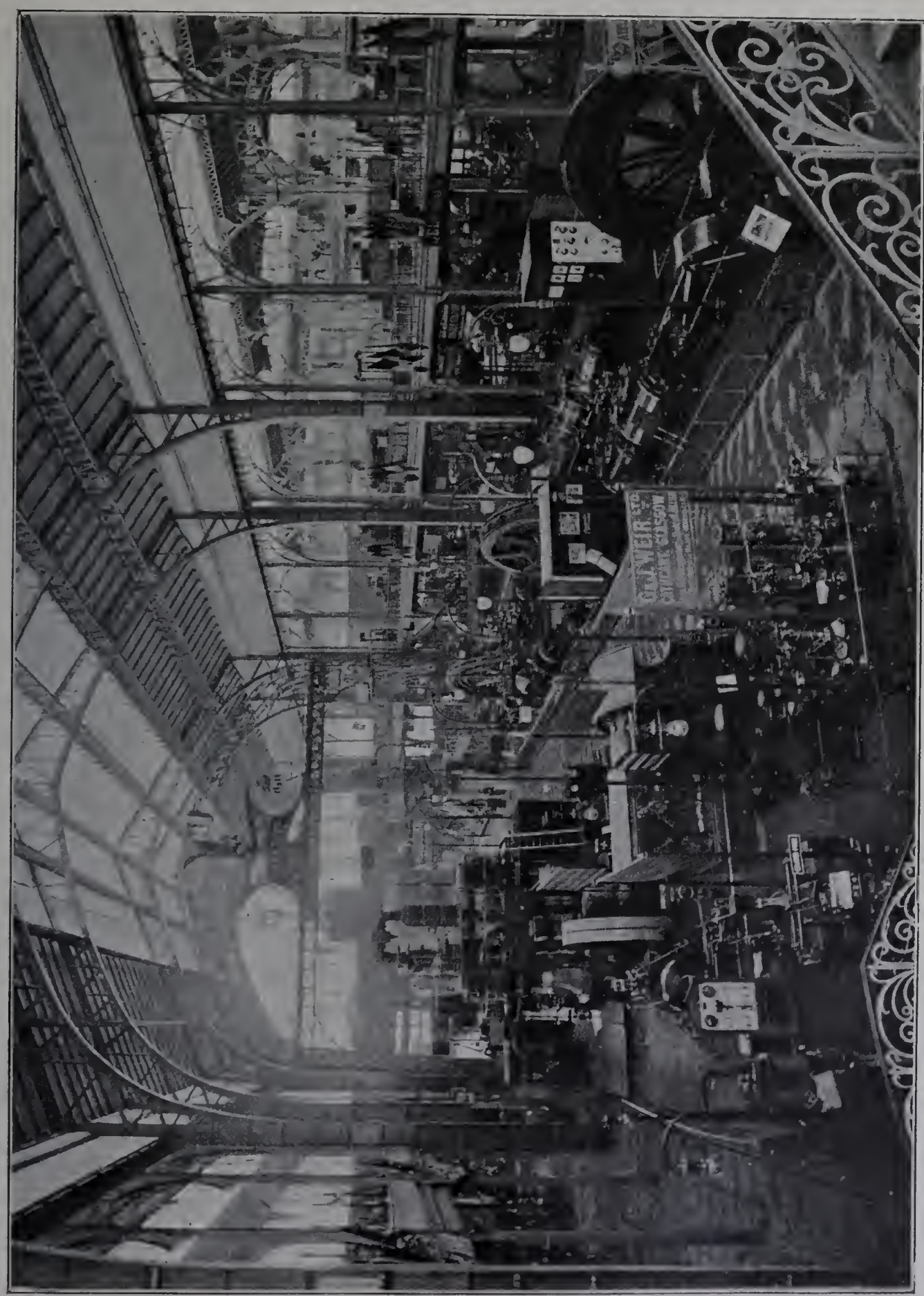


Fig. 6. — Vue générale de la galerie des groupes électrogènes, sections étrangères.

Les usines productrices de vapeur installées dans ces deux cours, sous des hangars offrant chacun une surface couverte de 3.300 mètres carrés, étaient dites usine La Bour-

donnais et usine Suffren, du nom des deux avenues au voisinage desquelles elles se terminaient de part et d'autre. La première était affectée en majeure partie aux chaudières de construction française et la seconde à celles de construction étrangère, sans toutefois que la distinction ait pu être rigoureuse.

Les groupes électrogènes eux-mêmes, c'est-à-dire les moteurs à vapeur, avec leurs condenseurs, et les appareils générateurs d'électricité que ces moteurs actionnaient, étaient disposés suivant une classification par pays : ceux des exposants français occupaient la galerie de 30 mètres de large contiguë à l'usine La Bourdonnais et de même longueur qu'elle, magnifique nef de 3,600 mètres carrés dont la figure 5 donne la vue d'ensemble; les groupes étrangers étaient placés, les uns dans la galerie de 30 mètres symétrique, contiguë à l'usine Suffren (fig. 6), les autres dans des parties du palais de la mécanique voisines de cette galerie de 30 mètres.

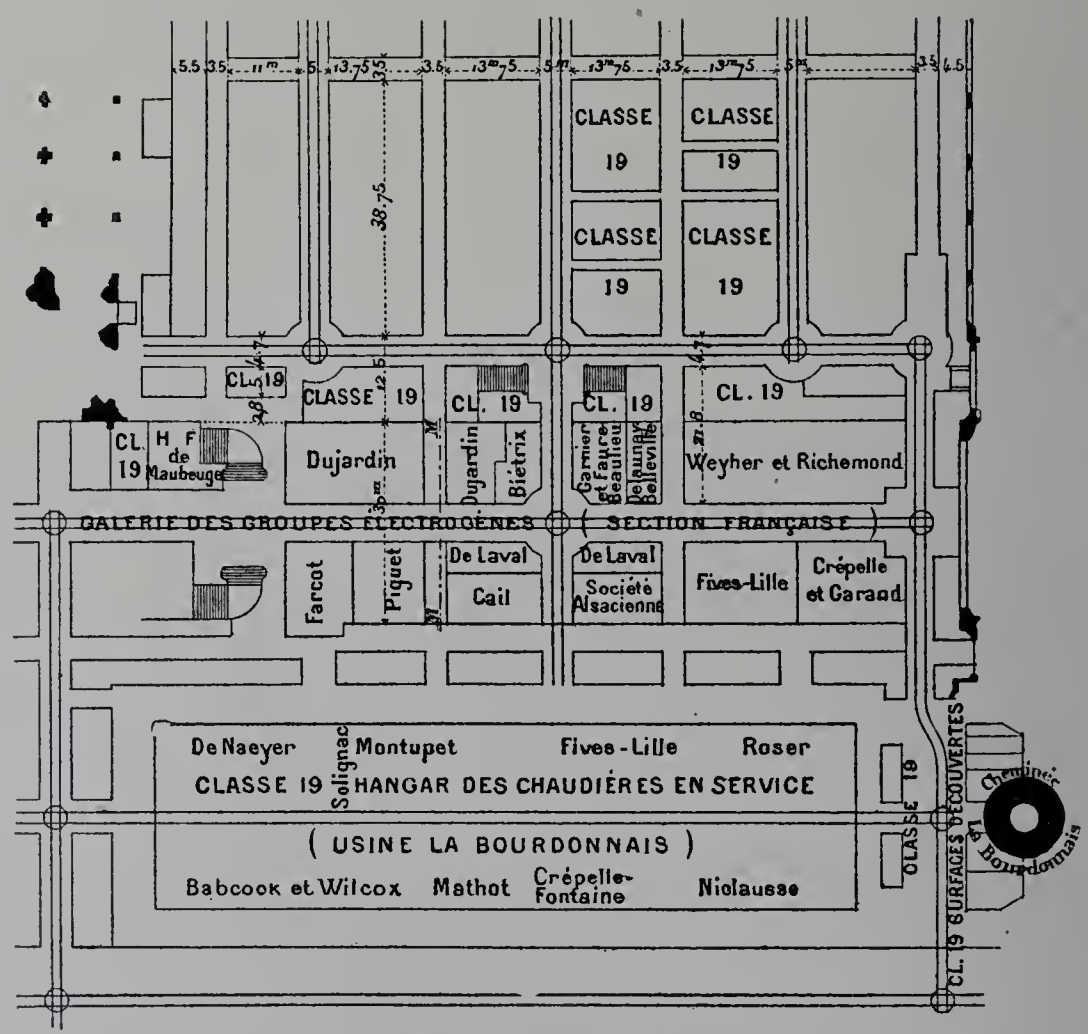


Fig. 7. — Emplacements de la section française. — Rez-de-chaussée.
Échelle de 1/1600.

Quant aux appareils exposés qui ne faisaient pas partie des usines productrices de vapeur ni des groupes électrogènes, ils étaient placés dans le palais de la mécanique, au voisinage de ces groupes, de manière à assurer l'unité de la Classe.

C'est ainsi que, du côté français, les principaux emplacements occupés par les appareils exposés, en dehors des groupes électrogènes, étaient, au rez-de-chaussée, la bande de 7 m. 80 de largeur formant bordure de la galerie de ces groupes et la travée Nord-Sud, de 40 mètres sur 30, comprise entre les expositions des Classes 21 et 23 : soit, dans

le palais de la mécanique, une surface d'environ 2,500 mètres carrés. Faute de place, comme nous l'avons dit, on avait installé aussi un certain nombre d'appareils à l'extrémité de la cour de l'usine La Bourdonnais et au pied de la grande cheminée desservant les chaudières de cette usine. A l'étage avaient pris place les appareils d'un poids restreint, accessoires pour la plupart ou modèles à échelle réduite : ils y occupaient 700 mètres carrés.

Les divers emplacements de la section française sont représentés par les figures 7 et 8.

Du côté étranger, le groupement était fait dans le même esprit, nation par nation. La figure 9 montre, à titre d'exemple, la partie de l'exposition suisse où étaient installées les machines de MM. Sulzer frères.

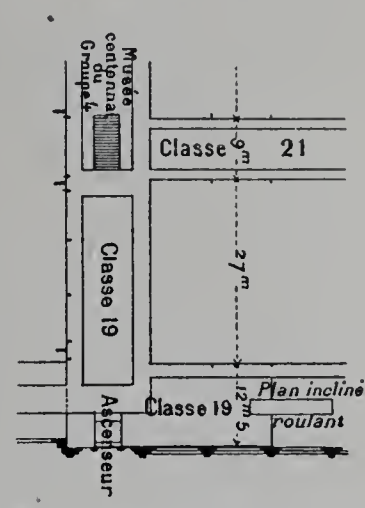


Fig. 8. — Emplacements de la section française. — Étage. Échelle 1/1600.

Ce qui précède se rapporte à l'exposition du Champ de Mars. A l'annexe de Vincennes, la Classe 19 n'était représentée que par un petit nombre d'appareils. Les seuls en service étaient deux chaudières et une machine motrice à échappement libre, actionnant une dynamo dont le courant mettait en mouvement les machines-outils de l'exposition des États-Unis.

Dispositions prises par le Service des installations mécaniques pour les groupes électrogènes du Champ de Mars. — La dualité de situation dans laquelle se trouvaient, au Champ de Mars, les exposants des chaudières productrices de vapeur et des groupes électrogènes en service imprimait à ce département de la Classe 19 un caractère spécial. Les appareils avaient à y concourir à une fonction commune; ils étaient les parties d'un tout. Un réseau unique de canalisations générales, établies par les soins de l'Administration, recevait la vapeur produite par toutes les chaudières et la fournissait à tous les moteurs. Les exposants, par suite, ne furent pas entièrement libres dans leurs dispositions. La pression effective de la vapeur dut être uniformément de 11 kilogrammes par centimètre carré aux chaudières; à la suite de la perte de charge subie dans la canalisation, elle était d'environ 10 kilogrammes par centimètre carré aux soupapes d'admission des machines, à moins qu'elle ne fût abaissée au-dessous de ce chiffre par l'interposition d'un détendeur. C'est le moyen auquel eurent recours les exposants français des machines monocylindriques.

La vapeur ainsi fournie sous pression uniforme était, bien entendu, de la vapeur saturée : un certain nombre de machines avaient été construites en vue de pouvoir être alimentées en vapeur surchauffée; l'expérimentation de ce mode de fonctionnement ne put avoir lieu à l'Exposition.

Le devoir qui s'imposait à l'Administration d'assurer complètement la sécurité nécessita l'insertion, au programme de la fourniture de vapeur, de certaines clauses ou recommandations qui prévenaient l'initiative des exposants. C'est ainsi qu'il fut recommandé à ceux-ci, pour les chaudières à tubes d'eau, de disposer les portes des foyers et des

cendriers de manière à s'opposer automatiquement à tout retour de flamme en cas de rupture d'un tube; pour les chaudières à grand corps, de loqueter solidement les portes des foyers; pour toutes, de munir de fermetures robustes et de barres de sûreté les portes des boîtes à tubes ou des boîtes à fumée.

L'interposition d'un clapet automatique d'arrêt sur chaque prise de vapeur, les précautions propres à éviter les coups d'eau dans les boîtes des vannes, l'addition de pare-éclats aux tubes indicateurs du niveau de l'eau, furent également au nombre des clauses prescrites par l'Administration.

Enfin, celle-ci n'admit à participer à la fourniture de vapeur que des chaudières appartenant à des types déjà précédemment construits et employés, estimant que ce n'était pas le lieu, dans une Exposition, de faire, aux dépens de la sécurité du public, l'expérimentation de générateurs inédits. Les constructeurs, avant d'être admis comme exposants fournisseurs de vapeur, eurent donc à soumettre les dessins des appareils à l'Administration, qui prit, sur chacun des types proposés, l'avis du Comité technique des machines institué auprès de la Direction générale de l'Exploitation.

Cette communication avait encore un autre but : c'était de permettre de vérifier, relativement à chaque chaudière, si l'exposant déclarait un chiffre acceptable pour la *capacité productive*, c'est-à-dire pour la quantité de vapeur que l'appareil serait capable de produire par heure. Il était nécessaire, en effet, que l'Administration fût fixée à l'avance, sans danger de mécompte, sur la *capacité productive* de l'ensemble des chaudières installées. De plus, les exposants de ces chaudières étant, pour la fourniture de la vapeur, des entrepreneurs au service de l'Administration, passaient avec celle-ci un marché de gré à gré qui, entre autres clauses, leur attribuait pour frais de fondations et de maçonneries accessoires une indemnité de 1,500 francs par tonne de capacité productive.

Afin de couper court à toute contestation et de prévenir le danger d'un surmenage des générateurs, l'Administration décida à l'avance que la capacité productive ne serait, en aucun cas, quel que fût le type de l'appareil, évaluée à plus de 600 kilogrammes par mètre carré de surface de grille.

En ce qui touche les groupes récepteurs de vapeur et générateurs d'électricité, l'Administration ne fit marché qu'avec un seul contractant pour l'ensemble de chaque groupe; si la machine à vapeur et la génératrice d'électricité n'étaient pas du même constructeur, les deux constructeurs devaient former un consortium. De même que les fournisseurs de vapeur, ceux d'énergie électrique eurent à obtenir, pour leurs plans, l'approbation de l'Administration, assistée des comités techniques des machines et de l'électricité. Ces comités fixèrent notamment la puissance indiquée pour laquelle chaque groupe fut admis et qui servit au calcul de l'indemnité d'installation à payer au fournisseur. Pour la partie mécanique, les calculs de résistance des volants furent l'un des objets sur lesquels se porta particulièrement l'attention du Comité des machines.

Dispositions générales des usines productrices de vapeur. — L'Administration avait estimé comme nécessaire au bon fonctionnement du service une capacité produc-

tive totale de 200,000 kilogrammes de vapeur par heure. Il fut installé, en réalité, par 18 exposants fournisseurs de vapeur, 92 générateurs[1] représentant une capacité pro-

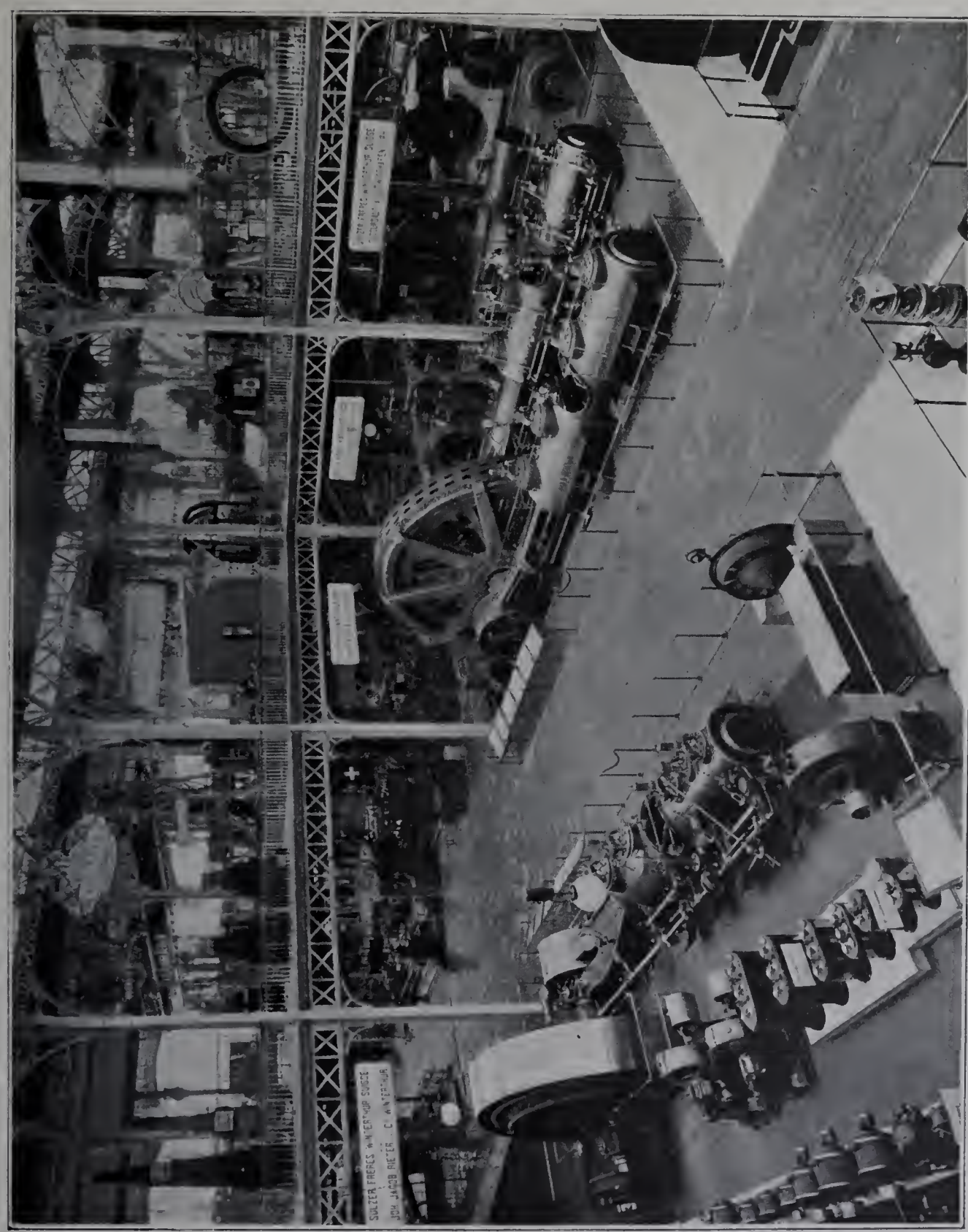


Fig. 9. — Vue d'une partie de la section suisse (machines Sulzer).

ductive de 235,000 kilogrammes, dont 121,000 kilogrammes pour les 50 chaudières de l'usine La Bourdonnais et 114,000 kilogrammes pour les 42 unités de l'usine Suffren. La surface de grille totale était de 400 mètres carrés, la surface de chauffe totale

[1] En comptant pour deux unités les chaudières cylindriques juxtaposées de la Société Paucksch.

(y compris réchauffeurs), de 17,600 mètres carrés. La moyenne du rapport de la surface de chauffe à la surface de grille, $\frac{S}{G}$, était donc égale à 44; la capacité productive admise comme base par l'Administration pour le calcul de l'indemnité fixe ressortissait en moyenne à 590 kilogrammes par mètre carré de surface de grille, au taux fort modéré de 13 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe totale.

Le tableau ci-après montre la variation du nombre des chaudières en service aux Expositions successives :

Exposition	de 1867	32 chaudières.
	de 1878	19
	de 1889	30
	de 1900	92

De ces 92 chaudières, 73 étaient à tubes d'eau, 15 à tubes-foyers intérieurs avec ou sans tubes de fumée; 4 seulement appartenaient au type à foyer extérieur avec tubes de fumée, dit *semi-tubulaire*.

Les tableaux ci-après donnent la liste des chaudières de chacune des deux usines, avec le détail des surfaces de grille et des surfaces de chauffe.

USINE LA BOURDONNAIS.

GENRE DES CHAUDIÈRES.	DÉSIGNATION DES EXPOSANTS.	NOMBRE de CHAUDIÈRES.	PAR CHAUDIÈRE : SURFACE DE GRILLE.	PAR CHAUDIÈRE : SURFACE DE CHAUFFE.	PAR CHAUDIÈRE : $\frac{S}{G}$	AU TOTAL : SURFACE DE GRILLE.	AU TOTAL : SURFACE DE CHAUFFE.
A foyer extérieur semi-tubulaire....	Compagnie de Fives-Lille.	3	4mq24	208mq	49	12mq70	624mq
	A. Montupet.....	1	1 10	38	35	1 10	38
A tubes d'eau.....	Compagnie française Babcock et Wilcox.....	8	3 11	170	55	39 20	1,900
		2	7 15	270	38		
	J. et A. Niclausse.....	12	2 94	100	34	35 30	1,200
	De Naeyer et Cie.....	6	5 55	327 (1)	60	33 30	1,962
	Société des générateurs Mathot.....	2	9 25	348	38	28 00	1,032
		2	4 77	168	35		
	Roser.....	6	4 54	260	57	27 20	1,560
	A. Montupet.....	3	3 60	135	38	16 60	639
		2	2 88	117 (2)	41		
	Crépelle-Fontaine.....	1	5 72	176	31	5 70	176
	Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.....	1	4 50	159	35	4 50	159
	Solignac, Grille et Cie..	1	1 92	36	19	1 90	36
Totaux.....		50	.....	.....	....	205 50	9,326

(1) Dont 112 mètres carrés de surface de réchauffeur. — (2) Dont 34 mètres carrés de surface de réchauffeur.

USINE SUFFREN.

GENRE DES CHAUDIÈRES.	DÉSIGNATION DES EXPOSANTS.	NOMBRE de CHAUDIÈRES.	PAR CHAUDIÈRE : SURFACE DE GRILLE.	PAR CHAUDIÈRE : SURFACE DE CHAUFFE.	PAR CHAUDIÈRE : $\frac{S}{G}$	AU TOTAL : SURFACE DE GRILLE.	AU TOTAL : SURFACE DE CHAUFFE.
A tubes-foyers intérieurs, sans tubes de fumée.....	Société Galloway.....	6	4mq50	109mq	24	27mq00	654mq
	Ewald Berninghaus....	1	4 45	200 (1)	45	4 50	200
	Société H. Paucksch....	2	1 62	50	31	3 20	100
A tubes-foyers intérieurs et tubes de fumée (chaudières à deux corps superposés).....	Ewald Berninghaus.....	4	4 40	250	57	17 60	1,000
	Petzold et Cie.....	1	3 59	250	69	3 60	250
A tubes d'eau.....	L. et C. Steinmüller....	5	5 80	254	44	29 00	1,270
	J. et A. Niclausse.....	9	2 94	100	34	26 50	900
	Compagnie française Babcock et Wilcox.....	4	6 17	301	49	24 70	1,204
	De Naeyer et Cie.....	4	5 55	327	60	22 20	1,308
	Société des générateurs Mathot.....	2	9 25	348	38	20 00	750
		1	1 45	54	37		
	Petry Dereux.....	1	6 20	303	49	6 20	303
	Simonis et Lanz.....	1	5 40	215	40	5 40	215
	Fitzner et Gamper.....	1	3 40	150	44	3 40	150
Totaux.....		42	.....	.....	....	193 30	8,304

(1) Dont 50 mètres carrés de surface de réchauffeur.

Pendant la durée de l'Exposition, ces 92 chaudières ont brûlé 33,600 tonnes de houille et vaporisé, d'après les compteurs, 299,000 tonnes d'eau : ce qui, en supposant les compteurs exacts et la vapeur sèche, correspond à une production moyenne de 8 kilogr. 910 de vapeur par kilogramme de combustible.

Les deux usines étaient établies suivant un plan général extrêmement intéressant. On était bien loin de ces installations resserrées, de ces chaufferies closes, si défavorables à la sécurité en même temps qu'à l'hygiène des chauffeurs. Ici, pour abriter les ouvriers et les appareils, l'Administration avait établi dans chacune des deux cours un simple hangar à ossature métallique, de 28 mètres de portée et 105 mètres de longueur, laissant tout autour de lui un espace de 6 mètres de largeur. La figure 10 est un extrait de plan représentant, à titre d'exemple, l'extrémité Est de l'usine La Bourdonnais; les figures 11 et 12 montrent les dispositions du hangar. L'espace de 6 mètres réservé au pourtour de celui-ci formait à la périphérie de l'usine un chemin de circulation qui demeurait entièrement à ciel ouvert, sauf une bande de 1m60 abritée par les auvents de la toiture. Les générateurs étaient établis sur deux rangs, les façades tournées vers l'extérieur du hangar et en retrait de 4 mètres sur les poteaux de la charpente : de la sorte, un parquet de chauffe de 4 mètres de largeur se trouvait réservé devant chaque groupe de

chaudières, entre ce groupe et le chemin de circulation. Du côté opposé aux façades, les deux rangées de générateurs laissaient entre elles, suivant l'axe du hangar, un inter-

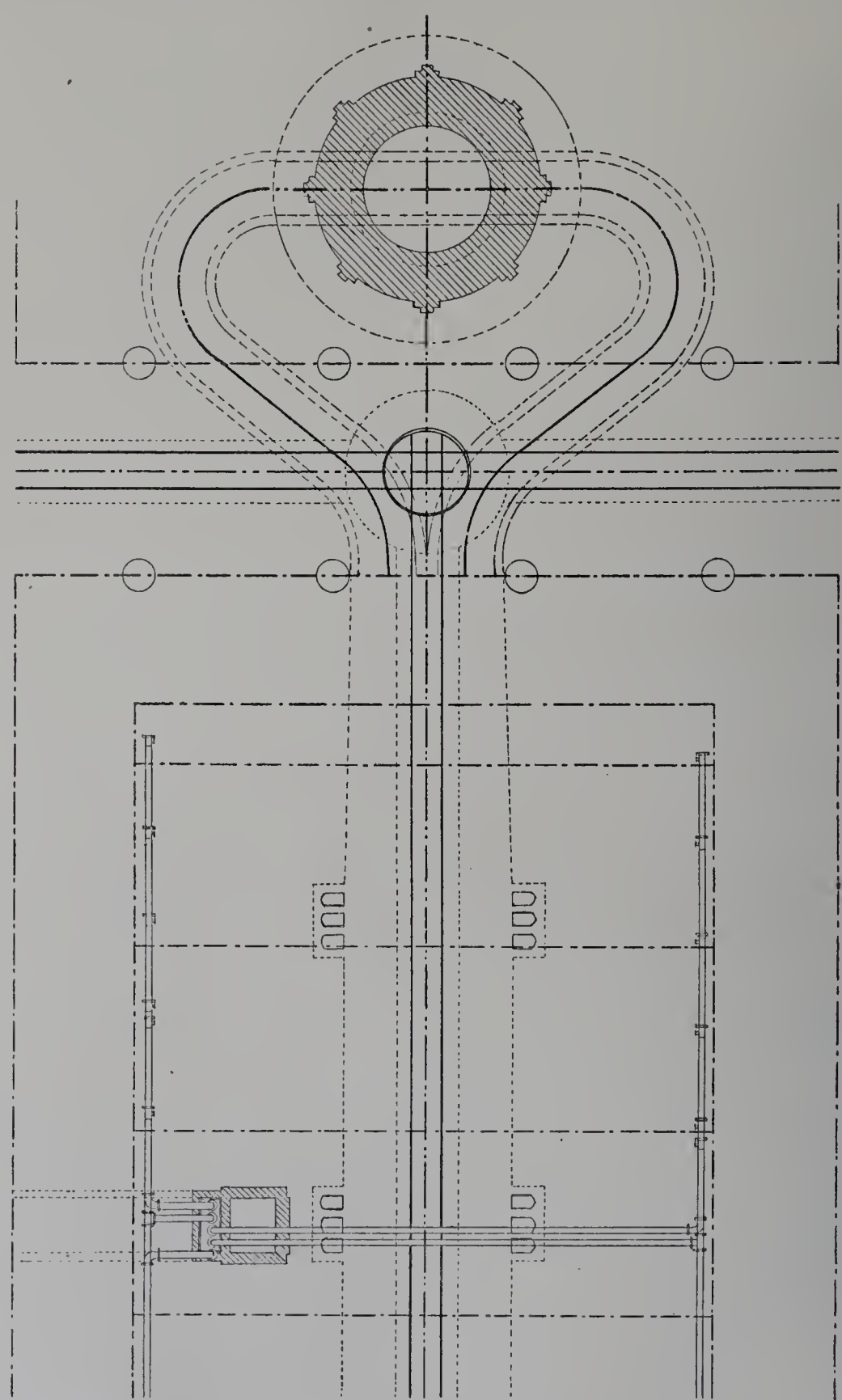


Fig. 10. — Plan de l'extrémité Est de l'usine La Bourdonnais et du raccordement des galeries de fumée avec la cheminée de 80 mètres. — Échelle : 1/400.

valle dont le milieu était occupé par une voie ferrée de largeur normale, reliée à la gare du Champ de Mars ; c'est par là qu'arrivaient les approvisionnements de combustible et que les cendres étaient transportées hors de l'Exposition.

La figure 13 donne une vue partielle de l'usine La Bourdonnais, extrémité Est : on voit que l'air et la lumière y pénétraient largement et que toute facilité était donnée aux chauffeurs pour le service des foyers.

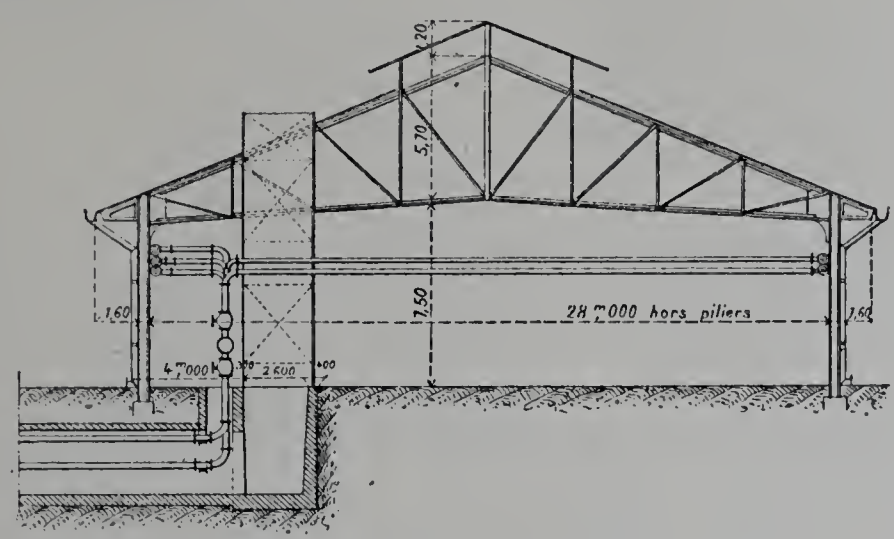


Fig. 11. — Coupe transversale de l'un des hangars (usine La Bourdonnais ou Suffren).
Échelle : 1/400.

Les gaz de la combustion étaient emmenés par deux carneaux souterrains, correspondant aux deux rangées de chaudières, vers la grande cheminée édifiée à l'extrémité de

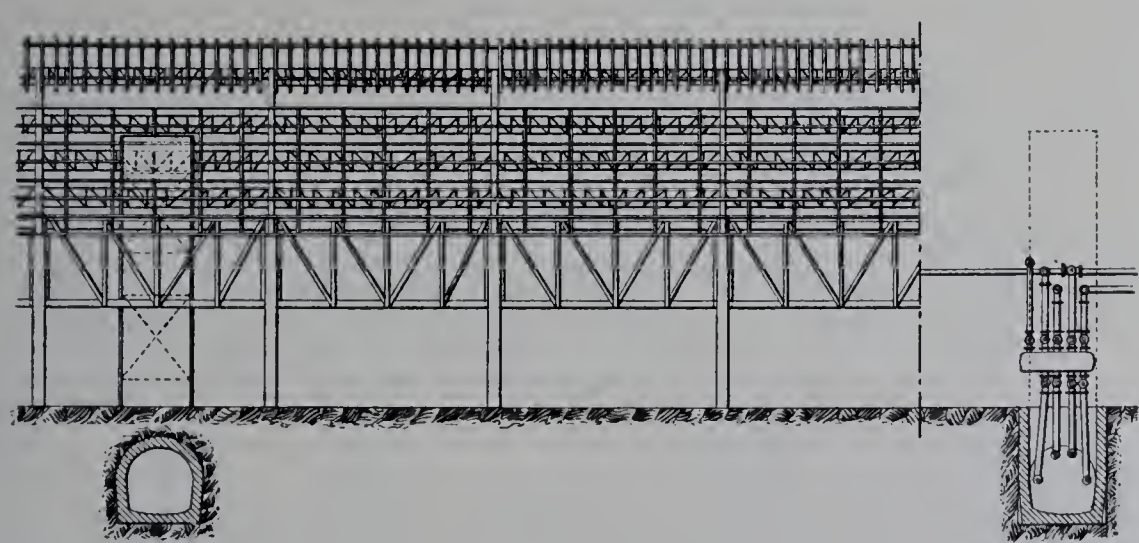


Fig. 12. — Coupe longitudinale partielle de l'un des hangars (usine La Bourdonnais ou Suffren).
Échelle : 1/400.

chaque usine. Chacun de ces carneaux offrait, avant la courbe terminale par laquelle il aboutissait au bas de la cheminée, une longueur de 91 mètres en alignement droit, avec une section successivement agrandie, dont le calcul avait été établi sur les bases suivantes : on avait prévu que cinq groupes de chaudières, régulièrement espacés le long de l'usine, seraient desservis par chaque carneau, que chaque groupe aurait à fournir 10,000 kilogrammes de vapeur à l'heure, qu'il faudrait un mètre carré de grille pour fournir, à l'heure, 600 kilogrammes de vapeur; enfin, que la section du carneau devait valoir 1/7 ou 1/8 de la surface de grille. En conséquence, le carneau commençait par $2^{mq}20$ de section et finissait par 11 mètres carrés environ.

IMPRIMERIE NATIONALE.

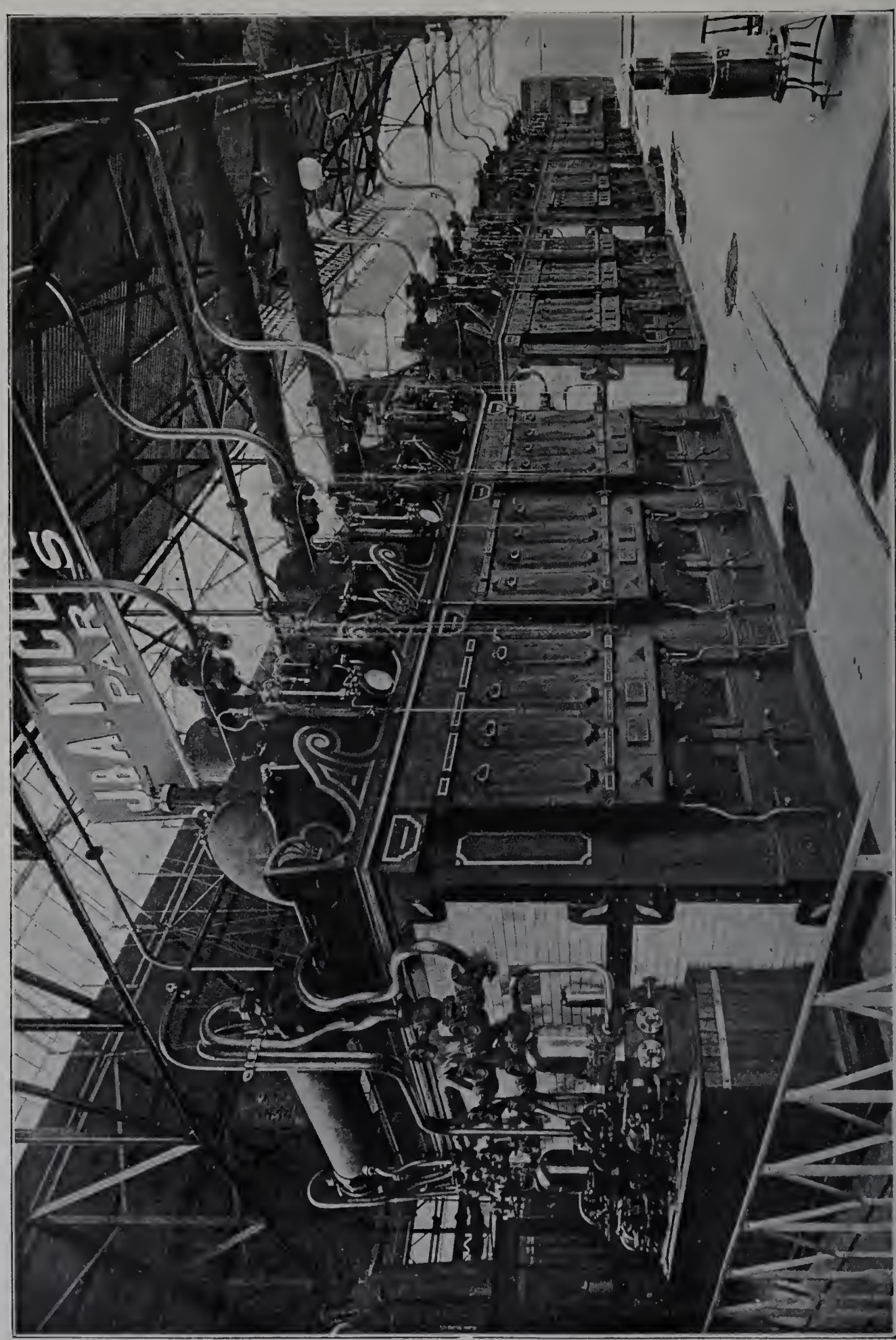


Fig. 13. — Vue prise dans l'usine La Bourdonnais (extrémité Est).

Deux carneaux semblables aboutissaient à chaque cheminée. Celle-ci avait 80 mètres de haut, afin de rejeter les fumées loin du sol, et une section (au sommet) de 16 mètres carrés, soit 1/10 de la surface totale prévue des grilles; le diamètre intérieur au sommet était donc égal à $4^{m}50$.

Un concours avait été ouvert entre les spécialistes français pour l'étude et la construction des cheminées. Parmi les dix-huit projets présentés, le jury du concours, présidé par M. J. Hirsch, avait classé en première ligne et particulièrement recommandé celui de MM. Nicou et Demarigny : il fut exécuté du côté La Bourdonnais; on aura à revenir, au chapitre III, sur ce remarquable édifice, qui comptait parmi les objets exposés. Du côté Suffren, une cheminée de mêmes dimensions et de mêmes dispositions générales fut édifiée par les soins de l'Administration.

Canalisations de vapeur. — Les canalisations générales de vapeur étaient uniformément constituées au moyen de tuyaux de 25 centimètres de diamètre intérieur, soit $0^{m2}0490$ de section. Chaque conduite pouvait donc débiter, à la vitesse de 25 mètres par seconde, 4,400 mètres cubes par heure, soit environ 25,000 kilogrammes de vapeur. Ces tuyaux étaient formés de tôles d'acier Martin basique, de 6 millimètres d'épaisseur, qui ont donné en moyenne, aux essais de recette, 40 kilogr. 7 de résistance à la rupture et 24 1/4 p. 100 d'allongement. Ils étaient rivés; chaque tuyau, formé de trois viroles, mesurait $4^{m}40$ de longueur et se terminait par des brides en acier forgé finies sur le tour. Tous avaient été éprouvés par la presse hydraulique sous la pression de 20 kilogrammes par centimètre carré. Les jonctions étaient faites au moyen de bagues bi-coniques, comme le représente la figure 14.

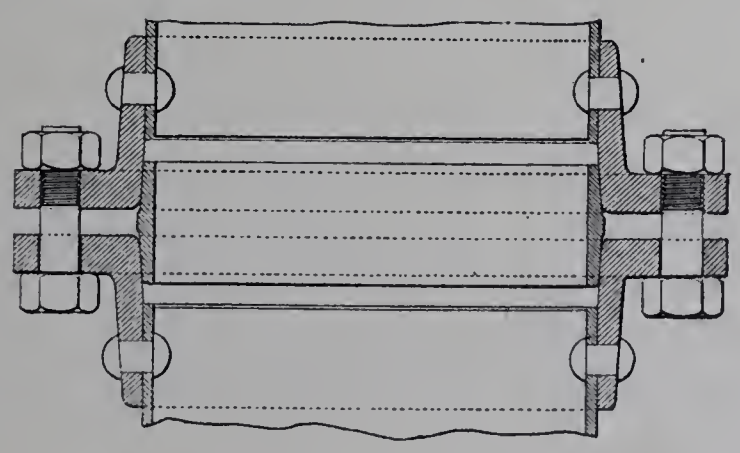


Fig. 14. — Canalisation générale de vapeur. — Jonction par bague bi-conique.

Sous le hangar de chacune des deux usines, les conduites recueillant la vapeur des générateurs étaient suspendues par des corbeaux aux poteaux de la charpente. Le hangar était, pour ce service, partagé en deux moitiés dans le sens de la longueur. Il y avait, pour recevoir la totalité de la vapeur fournie par l'usine, huit conduites collectrices distinctes, quatre pour la moitié Est et quatre pour la moitié Ouest. Les quatre conduites de la moitié Est étaient reliées à un même récipient collecteur de vapeur et les quatre autres à un second récipient semblable. Les deux récipients étaient, d'ailleurs, reliés l'un

à l'autre par une conduite spéciale de jonction : c'est pour ce motif que sur la coupe transversale du hangar, fig. 11, on voit à gauche du dessin trois conduites portées l'une au-dessus de l'autre par le poteau de la charpente. De la sorte, tout se passait comme si la totalité de la vapeur fournie par l'usine avait été rassemblée dans un ballon collecteur unique.

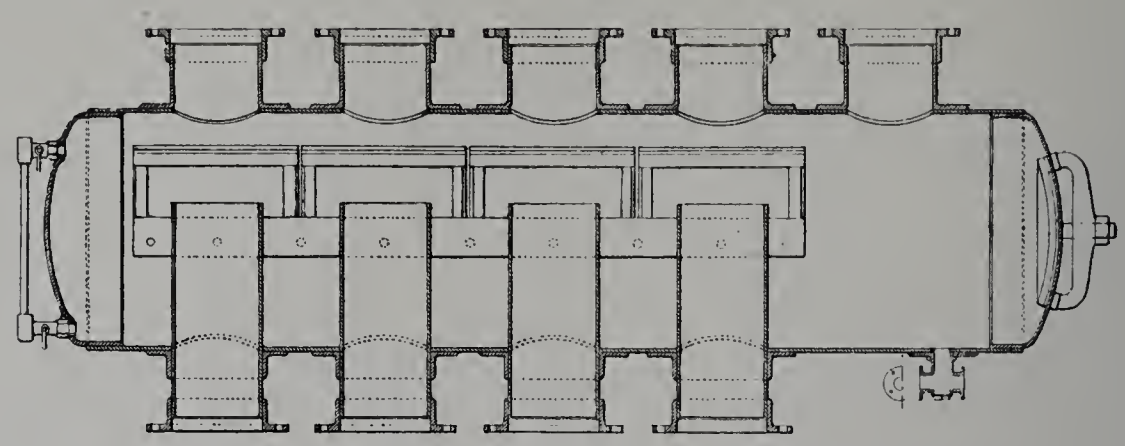


Fig. 15. — Récipient collecteur de vapeur. — Coupe longitudinale.

Les fig. 15 et 16 représentent un de ces récipients collecteurs. C'était un réservoir cylindrique de 70 centimètres de diamètre et 3 mètres de longueur, disposé de manière à faire office de séparateur d'eau; l'eau qui ruisselait sur la cloison en forme de V renversé et qui se rassemblait au bas du réservoir était évacuée au moyen de purgeurs automatiques. La vapeur sèche, reprise par quatre tubulures dans la partie haute du réservoir, au-dessous de la cloison, était ensuite emmenée vers les machines par un nombre égal de conduites logées dans des galeries souterraines. Les vannes de départ, ainsi que celles établissant la communication entre les deux collecteurs de l'usine, étaient munies de *by-pass* permettant, au moyen de robinets de 20 millimètres de diamètre, de faire communiquer les deux faces de chaque vanne. On évitait ainsi les coups d'eau, les mises en charge brusques; la manœuvre des vannes était facilitée. Enfin les *by-pass* étaient reliés à la canalisation d'air comprimé de la Compagnie Popp, ce qui permettait d'effectuer sans danger la recherche des fuites.

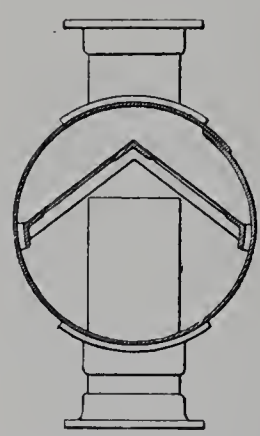


Fig. 16. — Récipient collecteur de vapeur. — Coupe transversale.

Le plan d'ensemble, fig. 17, montre le réseau des galeries souterraines, côté La Bourdonnais. Ces galeries contenaient à la fois les canalisations générales de vapeur allant aux machines, celles d'eau froide allant aux condenseurs, enfin celles d'eau chaude provenant des condenseurs et des purgeurs.

En vue du jeu des dilatations, c'est sur des rouleaux que les tuyaux de vapeur étaient portés dans les galeries souterraines, suivant le mode d'installation représenté à gauche de la fig. 18, à moins qu'ils ne fussent librement suspendus à la voûte comme l'indique la fig. 19. Chaque conduite était partagée en sections de 30 mètres environ de longueur, présentant chacune à l'une de ses extrémités une butée fixe et à l'autre un

joint glissant. Cette longueur de 30 mètres correspond, entre 15 degrés et 185 degrés, à une dilatation de 65 millimètres : c'est à ce déplacement, au maximum, que pouvait se trouver soumis le pied des branchements allant aux machines.

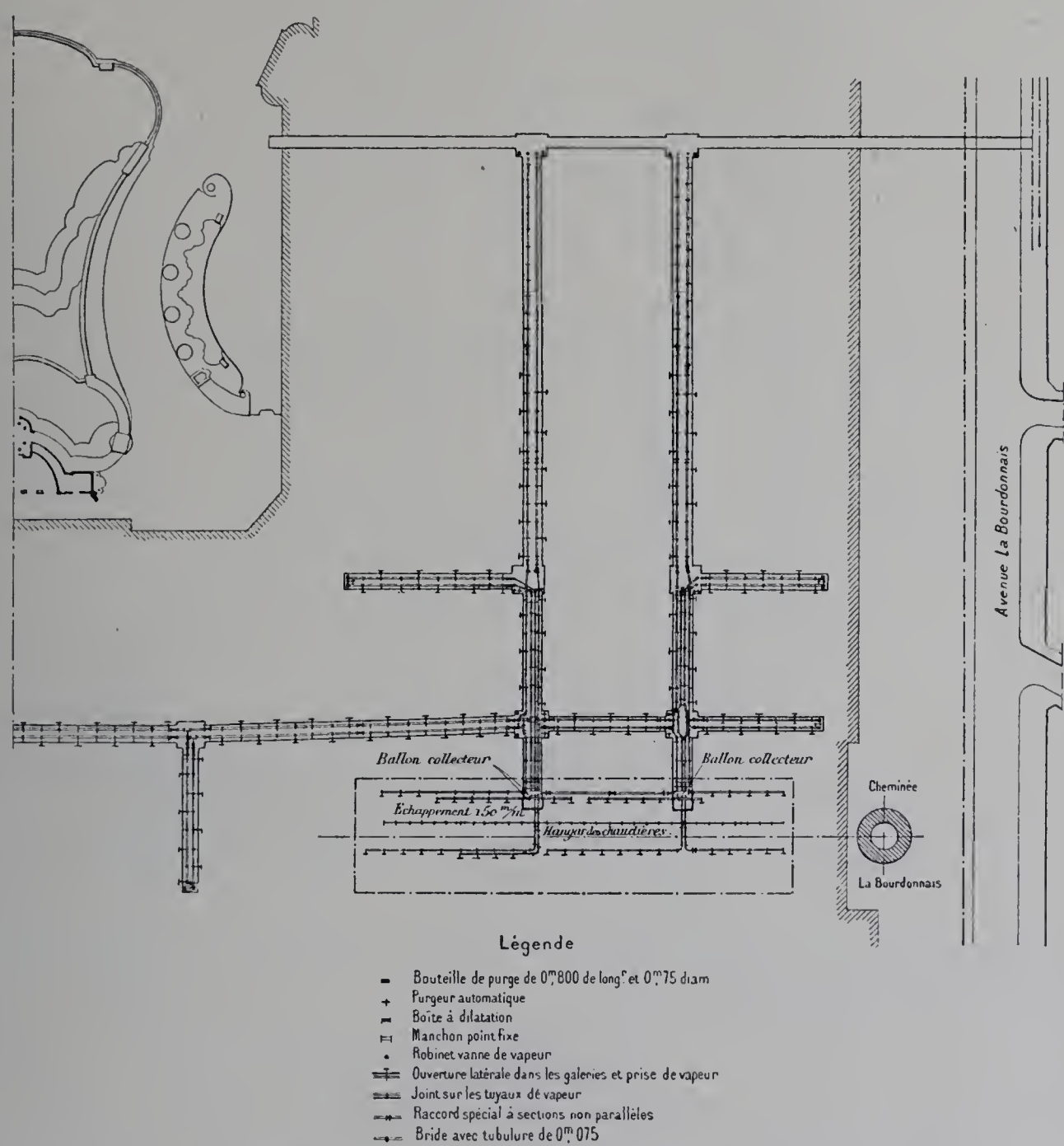


Fig. 17. — Plan d'ensemble des canalisations générales de vapeur, côté La Bourdonnais. Echelle 1/2000.

Les conduites étaient revêtues, suivant un système imaginé par MM. Grouvelle et Arquembourg, d'un revêtement calorifuge ainsi constitué : d'abord une spirale non jointive, en corde d'amiante de 4 millimètres de diamètre; puis un enveloppement formé de bandes de carton ondulé sur une face et lisse sur l'autre, comme celui employé pour certains emballages; on superposait quatre spires de ce papier, préalablement trempé dans un bain ignifuge. En outre, un badigeonnage ignifuge était ajouté sur la surface extérieure du revêtement ainsi constitué.

Une pente générale favorisait le cheminement de l'eau de condensation, qui aux points convenables, et notamment en avant des vannes d'arrêt, était éliminée au

moyen de purgeurs automatiques. Une canalisation d'eau spéciale recueillait les eaux des purgeurs.

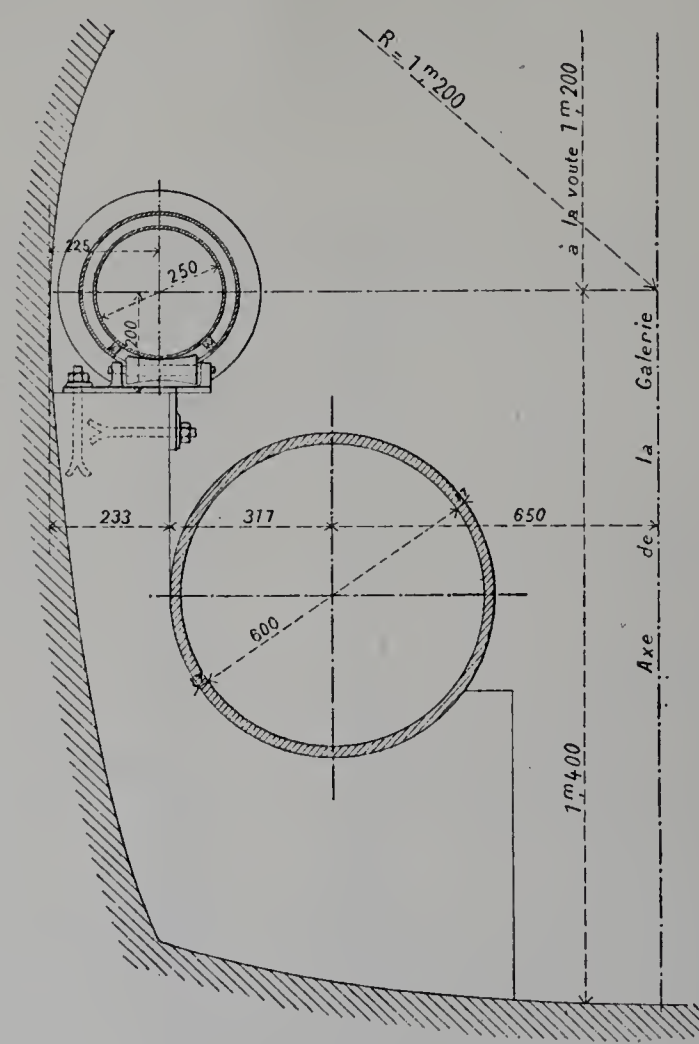


Fig. 18. — Demi-coupe d'une galerie souterraine, montrant une conduite de vapeur et une conduite d'eau.

Afin d'éviter le plus possible les risques de rupture, les vannes d'arrêt étaient entièrement en bronze, boîte comprise.

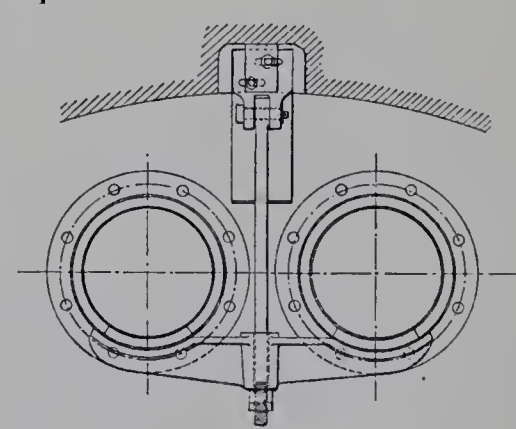


Fig. 19. — Suspension de deux conduites de vapeur à la voûte d'une galerie souterraine.

De place en place, sur les canalisations générales, les branchements des groupes électrogènes venaient se greffer. Le branchement était fait, pour la vapeur, en tuyaux de 150 millimètres de diamètre, constitués d'ailleurs et assemblés de la même manière que ceux de 250 millimètres. La fig. 20 donne le type d'un raccordement de ce genre;

on voit sur le dessin comment un groupe électrogène prenait, dans une des galeries souterraines du plus grand modèle (type n° 1) la vapeur et l'eau froide, et lui renvoyait l'eau chaude.

Les quelques exposants qui demandèrent de la vapeur en dehors de ceux des groupes électrogènes furent desservis au moyen de conduites de 75 millimètres.

Nous venons de décrire le réseau de distribution de l'usine La Bourdonnais : celui de l'usine Suffren était entièrement analogue. Une vanne de jonction existait, à l'intérieur des galeries souterraines, qui eût permis au besoin de mettre en communication les deux réseaux : mais il ne fut pas nécessaire d'ouvrir cette vanne et les services restèrent constamment distincts.

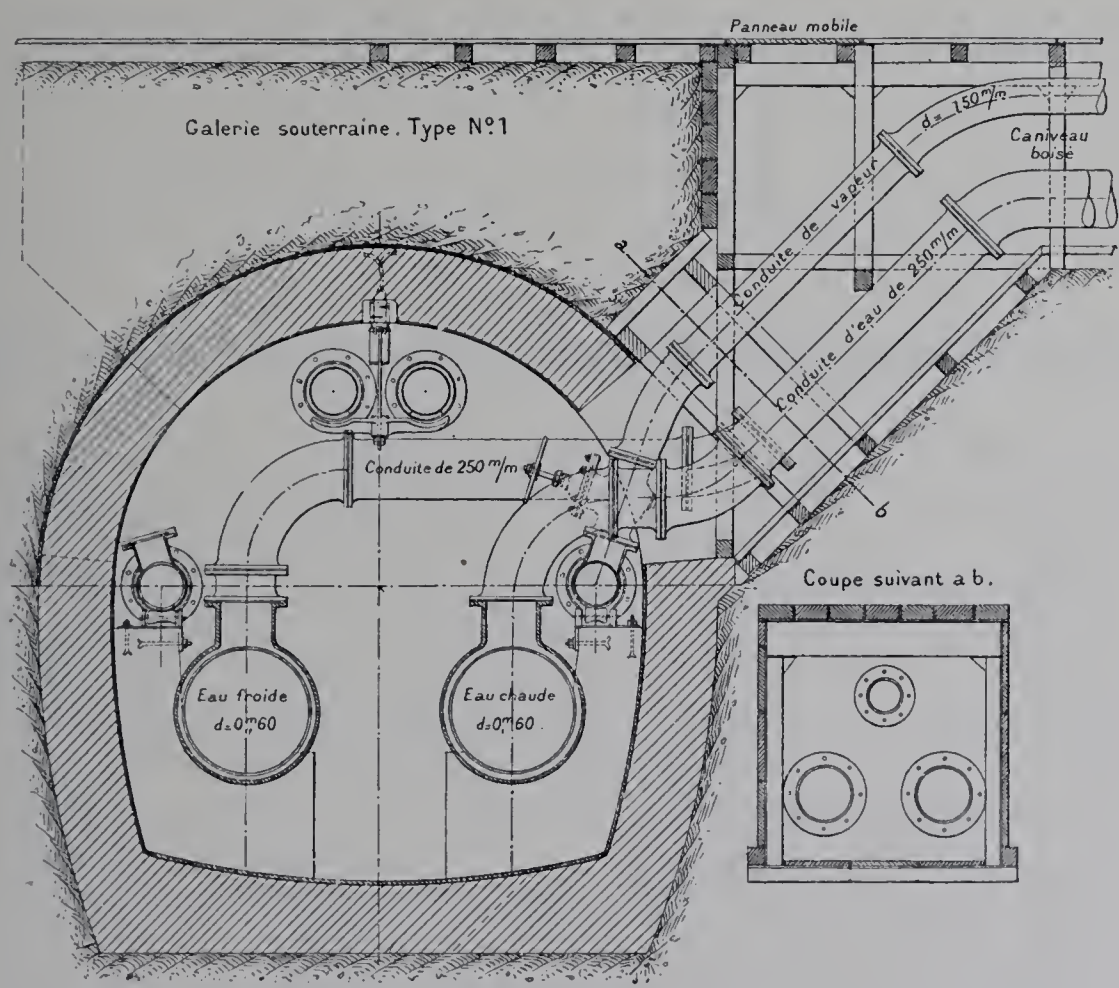


Fig. 20. — Coupe transversale d'une galerie souterraine du plus grand modèle, avec branchement desservant un groupe électrogène.

Consistance des groupes électrogènes. — Les groupes électrogènes furent installés au Champ de Mars au nombre de 39, savoir : 18 dans la section française et 21 dans les sections étrangères; mais, parmi ces derniers, trois ne furent pas utilisés par les services électriques de l'Exposition et tournèrent à vide, de sorte qu'il y eut 36 groupes réellement en service, représentant, d'après les chiffres admis par l'Administration, une puissance totale de 35,700 chevaux indiqués : 14,400 pour les 18 machines françaises, 21,300 pour les 18 étrangères. La puissance moyenne par machine était égale à 800 chevaux pour les unes, 1,180 chevaux pour les autres, 990 chevaux pour l'ensemble.

Si l'on tient compte, en outre, du groupe électrogène de 300 chevaux établi à Vincennes, on arrive aux chiffres du tableau ci-après, donnant la comparaison du nombre et de la puissance des machines en service aux Expositions successives :

ANNÉES.	NOMBRE DE MACHINES.	PUISSANCE TOTALE.	PUISSANCE MOYENNE.
		chevaux.	chevaux.
1867	52	854	16
1878	41	2,533	62
1889	32	5,320	166
1900	37	36,000	973

Sur les 36 unités du Champ de Mars, 2 étaient des turbines; les autres étaient des machines à piston, dont 7 monocylindriques, 18 à double expansion, 8 à triple, 1 enfin à quadruple expansion. Les tableaux suivants en donnent la liste pour chaque nation.

SECTION FRANÇAISE.

MACHINES À VAPEUR.									GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ.	
ORGANES de DISTRIBUTION.	MACHINE HORIZONTALE (H) OU VERTICALE (V).	CONSTRUCTEUR.	PUISSANCE.	VITESSE ANGULAIRE.	VITESSE MOYENNE DES PISTONS.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ utile.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ par cheval.	NATURE des courants.	CONSTRUCTEUR.
			chev^x.	tours p.min.	mèt. p. sec.	m^c.	litres.		
MACHINES MONOCYLINDRIQUES.									
Tiroirs Corliss.	H	Farcot	850	78,5	3,51	1,060	1,25	Diph. 2,200 v. 40 ~.	Farcot.
	H	Garnier et Faure-Beaulieu	500	90	3,60	0,475	1,19	Continu 500 volts.	Postel-Vinay.
	V		135	160	2,66	0,083	0,62	*Idem.*	*Idem.*
Tiroirs plans.	H	Weyher et Richemond.	1,000	120	4,00	0,866	0,87	Continu 250 volts.	Daydé et Pillé.
	H		500	93	4,00	0,432	0,86	Triph. 3,000 v. 50 ~.	Société générale électrique de Nancy.
	H	Pignet et Cie	600	94	3,45	0,624	1,04	Triph. 2,200 v. 50 ~.	A. Grammont.
Soupapes et tiroirs plans.	H	Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.	500	120	4,00	0,441	0,88	Continu 250 volts	Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.
MACHINES À DOUBLE EXPANSION.									
Tiroirs Corliss.	V	Anciens Établissements Cail.	1,250	75	3,05	2.858	2,29	Triph. 5,500 v. 25 ~.	Compagnie française Thomson-Houston.
	V	Société alsacienne	1,200	70	2.80	1,718	1,38	Continu 500 volts.	Société alsacienne.
	H	Crépelle et Garand	1,200	70	3,72	2,185	1,82	Continu 250 volts.	Société Decauville.
	H	Compagnie de Fives-Lille.	1,200	80	3,73	1,858	1,55	Triph. 2,200 v. 50 ~.	Compagnie de Fives-Lille.
	H	Dujardin et Cie	800	80	3,60	1,280	1,60	Triph. 3,000 v. 50 ~.	Société *l'Éclairage électrique.*
Soupapes.	H	Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.	350	120	3,00	0,211	0,60	Continu 250 volts.	Société *l'Éclairage électrique.*
Tiroirs plans.	H	Weyher et Richemond.	1,000	95	4.12	1,020	1,02	Triph. 2,200 v. 50 ~.	Société *Électricité et Hydraulique.*

MACHINES À VAPEUR.									GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ.	
ORGANES de DISTRIBUTION.	MACHINE HORIZONTALE (H) OU VERTICALE (V).	CONSTRUCTEUR.	PUISSANCE.	VITESSE ANGULAIRE.	VITESSE MOYENNE DES PISTONS.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ utile.	GRAND CYLINDRE. CAPACTÉ par cheval.		NATURE des courants.	CONSTRUCTEUR.
			chev^x.	tours p. min.	mèt. p. sec.	m^c.	litres.			
MACHINES À TRIPLE EXPANSION.										
Tiroirs Corliss.	H	Dujardin et Cie	1,500	70	3,85	2,858	1,90		Triph. 3,000 v. 40 ~ .	Schneider et Cie
Tiroirs cylindriques	V	Delaunay - Belleville et Cie.	1,250	250	3,84	0,522	0,42		Triph. 2,200 v. 50 ~ .	Maison Bariquand.
TURBINES À VAPEUR.										
"		Société de Laval.....	350	9,000	"	"	"		Contin 250 volts....	Société de Laval.
			350	9,000	"	"	"		*Idem.*	*Idem.*

SECTIONS ÉTRANGÈRES.

MACHINES À VAPEUR.									GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ.	
EXPANSION DOUBLE (II). TRIPLE (III) OU QUADRUPLE (IV).	ORGANES de DISTRIBUTION.	MACHINE HORIZONTALE (H) OU VERTICALE (V).	CONSTRUCTEUR.	PUISSANCE.	VITESSE ANGULAIRE.	VITESSE MOYENNE DES PISTONS.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ utile.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ par cheval.	NATURE des courants.	CONSTRUCTEUR.
				chev^x.	tours p. min.	mèt. p. sec.	m^c.	litres.		
ALLEMAGNE.										
II.	Soupapes et tiroirs Corliss.	V	Société d'Augsbourg et Nuremberg.	1,400	90	3,45	1,574	1,13	Tri. 5,000 v. 50 ~ . Contin 250 volts.	Lahmeyer.
III.	Soupapes..	V	Borsig.....	2,230	83,5	3,34	3,370	1,51	Tri. 2,200 v. 50 ~ .	Siemens et Halske.
		H	Société d'Augsbourg et Nuremberg.	1,900	70	3,75	3,325	1,75	Alt. 2,200 v. 50 ~ .	Société *Helios*.
	Soupapes et tiroirs Corliss.	V	*Idem*.....	2,000	83	3,04	2,799	1,47	Tri. 5,000 v. 50 ~ . Contin 500 volts.	Schuckert.
AUTRICHE.										
II.	Soupapes..	H	Première Société de Brünn.	910	125	3,75	0,638	0,70	Tri. 2,200 v. 43 ~ .	Ganz et Cie.
III.	Soupapes..	V	Ringhoffer	1,600	95	2,85	1,924	1,20	Contin 500 volts.	Siemens et Halske.

MACHINES À VAPEUR.									GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ.	
EXPANSION DOUBLE (II), TRIPLE (III) OU QUADRUPLE (IV).	ORGANES de DISTRIBUTION.	MACHINE HORIZONTALE (H) OU VERTICALE (V).	CONSTRUCTEUR.	PUISSANCE.	VITESSE ANGULAIRE.	VITESSE MOYENNE DES PISTONS.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ utile.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ par cheval.	NATURE des courants.	CONSTRUCTEUR.
				chev.	tours p. min.	mèt. p. sec.	m³.	litres.		
BELGIQUE.										
II.	Soupapes. .	H	Carels frères.....	1,000	94	3,66	0,996	1,00	Tri. 3,000 v. 50 ~ .	Kolb n.
	Tiroirs Corliss.	H	Bollinckx	1,100	80	4,00	1,555	1,41	Tri. 2,200 v. 43 ~ .	Société *Électricité et Hydraulique.*
	Tiroirs cylindriques.	H	Van den Kerchove...	1,000	83	3,32	1,120	1,12	Tri. 2,200 v. 50 ~ .	Pieper.
GRANDE-BRETAGNE.										
II.	Tiroirs Corliss.	V	Compagnie Galloway.	500	105	3,20	0,535	1,07	Continu 250 volts.	Mather et Platt.
	Soupapes et tiroirs plans.	H	Robey et Cie.....	500	80	2,84	0,662	1,32	Continu 250 volts.	Robey et Cie.
III.	Tiroir cylindrique central.	V	Willans et Robinson.	2,400	200	4,00	"	"	Continu 500 volts.	Siemens frères.
HONGRIE.										
II.	Soupapes. .	H	Ladislas Lang.....	1,200	125	4,17	1,039	0,87	Tri. 2,200 v. 40 ~ .	Ganz et Cie.
ITALIE.										
III.	Soupapes. .	H	Franco Tosi	1,200	107	4,25	1,800	1,50	Continu 500 volts.	Schuckert.
VI.	Tiroirs cylindriques.	V	*Idem*.....	600	162	3,50	0,510	0,85	Continu 500 volts.	Bacini.
PAYS-BAS.										
II.	Soupapes. .	H	Stork frères	550	110	3,66	0,601	1,10	Continu 500 volts.	*Elektrotechnische Industrie.*
SUISSE.										
II.	Tiroir cylindrique rotatif.	V	Sulzer frères.....	400	250	3,32	0,127	0,32	Alt. 2,200 v. 50 ~ .	Ateliers d'Œrlikon.
	Tiroirs Corliss.	H	Escher Wyss.....	900	94	3,45	1,142	1,27	Tri. 2,200 v. 50 ~ .	*Idem.*

A ce tableau, nous regretterions de ne pas ajouter les trois remarquables groupes ci-après de la section suisse qui, bien que n'ayant tourné qu'à vide, avaient été établis en vue de fournir du courant aux services de l'Exposition :

MACHINES À VAPEUR.									GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ.
EXPANSION DOUBLE (II) OU TRIPLE (III).	ORGANES de DISTRIBUTION.	MACHINE HORIZONTALE (H) OU VERTICALE (V).	CONSTRUCTEUR.	PUISSANCE.	VITESSE ANGULAIRE.	VITESSE MOYENNE DES PISTONS.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ utile.	GRAND CYLINDRE. CAPACITÉ par cheval.	CONSTRUCTEUR.
				chev².	tours p.min.	mèt. p. sec.	m³.	litres.	
II.	Soupapes. .	H	Sulzer frères.....	700	100	3,66	0,661	0,88	Rieter.
III.	Soupapes. .	H	Sulzer frères.....	1,700	83,5	4,17	2,475	1,46	Brown Boveri.
	Tiroirs cylindriques.	V	Émile Mertz	360	280	2,40	0,169	0,47	Société Alioth.

Groupe électrogène de l'exposition américaine, à Vincennes. — A l'Annexe de Vincennes fonctionnait, comme nous l'avons dit, un groupe électrogène qui faisait partie de l'exposition des États-Unis. La vapeur était fournie, sous la pression de 9 kilogrammes par centimètre carré, par deux chaudières du type Climax, à corps cylindrique vertical et tubes d'eau formant hérisson. Le moteur, du système Ball, à double expansion avec distribution par tiroirs plans, développait 300 chevaux à la vitesse angulaire de 200 tours par minute. Il actionnait une dynamo à courant continu (Bullock).

CHAPITRE III.

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR.

I

GÉNÉRALITÉS.

Programme imposé aux générateurs modernes. — Les générateurs ont à produire la vapeur sous des pressions de plus en plus élevées. De plus en plus fréquemment ils ont à desservir des machines dont les variations de puissance sont étendues et brusques. Si la réduction du poids n'offre pas, pour les appareils d'usine, l'importance capitale qu'elle a pour les engins de transport, l'encombrement doit être, dans certains établissements, strictement limité. Il arrive souvent que le développement d'une indus-

trie fait croître le besoin de vapeur plus vite que le nombre des unités productrices : celles-ci ont alors à soutenir un régime intensif ou longuement continu, malgré que l'eau d'alimentation dont on dispose soit presque toujours plus ou moins impure.

Aux exigences de ce programme complexe se joint la condition d'un rendement élevé. Il est à noter que, sous ce rapport, les questions relatives aux générateurs n'ont pas moins d'importance que celles concernant les récepteurs : car une majoration de 5 p. 100, par exemple, sur la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible, ou une majoration de 5 p. 100 sur le travail engendré par kilogramme de vapeur, ont exactement la même influence sur le rendement global du système.

Enfin les conditions de construction, d'installation et d'entretien des générateurs n'intéressent pas seulement la régularité du service et l'économie de l'exploitation. La sécurité en dépend. A ce titre, elles réclament une place à part, au premier rang des préoccupations de l'ingénieur.

Qualités différentes suivant les types. — Tous les types de générateurs ne remplissent pas au même degré les conditions diverses que nous venons d'énumérer.

Les très fortes pressions sont difficilement compatibles avec les grands diamètres. A mesure qu'on élève le timbre des générateurs, on tend à faire un plus fréquent emploi des systèmes à tubes d'eau, qui ne nécessitent pas, comme les faisceaux de tubes à fumée, de larges enveloppes cylindriques.

Pour se prêter aux variations de la puissance, deux solutions se présentent, entre lesquelles le choix à faire dépend des cas. Ou bien l'on concilie ces variations avec une allure régulière du feu, en interposant, entre la source de chaleur et la conduite de vapeur, un accumulateur d'énergie ou, comme on dit, un volant de chaleur : ce volant, sous sa forme la plus simple, c'est la masse d'eau à haute température renfermée dans les chaudières; ou bien l'on fait usage d'appareils à petit volume d'eau, dont la mise en pression est rapide, et il faut pouvoir faire varier l'allure et le nombre des foyers en activité suivant les exigences de la consommation. Le rapport du volume d'eau à la puissance de vaporisation est si caractéristique de la stabilité naturelle du fonctionnement et des conditions du service, qu'il est souvent pris pour base de la classification des générateurs : les types utilisés pour les besoins généraux de l'industrie s'échelonnent, à cet égard, depuis la vieille chaudière non tubulaire à foyer extérieur, renfermant de dix à vingt fois la quantité d'eau qu'elle vaporise en une heure, jusqu'au générateur Belleville qui, dans le même temps, évapore trois fois son contenu. Quant à la chaudière à vaporisation instantanée, c'est-à-dire celle dont la réserve d'eau est pratiquement nulle, elle ne peut fonctionner qu'à la faveur d'un système de chauffage et d'alimentation qui proportionne à chaque instant, d'une manière rigoureuse, le combustible brûlé et l'eau injectée au poids de vapeur à produire; ce principe se trouve réalisé d'une manière fort intéressante dans des appareils chauffés au pétrole et servant à certains engins de transport; mais il n'a pas trouvé, jusqu'à présent, d'application d'ordre général et nous n'aurons pas à en parler.

L'encombrement horizontal, caractérisé par le rapport de l'emplacement total à la puissance de vaporisation, est minimum pour les appareils dont la surface de chauffe se développe presque exclusivement en hauteur au-dessus de la grille, comme les chaudières verticales ou comme certains générateurs à tubes d'eau, les Belleville ou les Niclausse, par exemple, qui n'occupent guère en plan qu'une fois et demie leur surface de grille. En ce qui touche le poids, bornons-nous à cette remarque : pour constituer une surface de chauffe d'une étendue donnée, plus on emploie des éléments cylindriques de petit diamètre, plus l'épaisseur du métal peut être réduite et par conséquent le poids métallique diminué.

L'aptitude à supporter les régimes de production intensive dépend essentiellement de l'efficacité du rafraîchissement procuré au métal de la surface de chauffe par le contact de l'eau. Les chaudières les plus sûres sous ce rapport sont donc celles où les bulles de vapeur, formées au contact des parois chauffées, ont le plus de facilité pour s'en éloigner immédiatement et gagner le réservoir de vapeur, et où, d'autre part, ces mêmes parois risquent le moins de se trouver isolées du liquide par des dépôts.

C'est encore le danger des dépôts, soit qu'ils agissent comme isolants entre le métal et le liquide, soit qu'ils gênent le départ de la vapeur et le renouvellement de l'eau au contact des surfaces de chauffe, qui limite le temps pendant lequel un générateur, supposé d'ailleurs en bon état, est apte à soutenir sans arrêt un régime donné de fonctionnement.

Arrivons à la question de rendement. A cet égard, un chiffre important est le rapport $\frac{S}{G}$ de la surface de chauffe à la surface de grille. Toutefois il ne faut pas lui attacher une signification absolue, car ni la production de chaleur n'a lieu avec une activité uniforme sur toutes les grilles, ni toutes les surfaces de chauffe n'absorbent, par mètre carré et par heure, un même nombre de calories. Il faut toujours revenir à cette considération, que le générateur le plus économique est celui où la combustion dégage aussi complètement que possible la chaleur d'oxydation du combustible et qui ne laisse perdre, soit par la température des gaz de la cheminée, soit par le rayonnement extérieur du fourneau, qu'une portion minimum de la chaleur produite. Une surface de grille largement calculée, une chambre de combustion vaste, une bonne proportion d'air comburant et le mélange intime de cet air avec les matières combustibles, sont favorables à une oxydation complète. Une surface de chauffe directe (partie de la surface de chauffe qui voit le feu) captant aussi complètement que possible le rayonnement du foyer, une surface de chauffe indirecte (partie en contact avec les gaz éteints) divisant ou brassant la masse gazeuse de manière à favoriser la convection, activent le refroidissement des gaz et réduisent les déperditions par le fourneau. Insuffisante, la surface de chauffe laisserait partir trop de chaleur avec la fumée; excessive, elle nuirait au tirage et exagérerait la perte extérieure en augmentant inutilement les dimensions de l'appareil.

Parmi les générateurs figurant à la Classe 19, le rapport $\frac{S}{G}$ varie de 30 à 70 environ.

Construction. — La pratique de plus en plus générale, celle qui correspond le mieux à l'état actuel de la métallurgie, consiste à employer, dans la construction des chaudières à vapeur, des tôles provenant du laminage de ce métal en lingots, modérément résistant, très ductile, réfractaire à la trempe, que l'on appelle acier extra-doux ou fer homogène. Les tubes, soit à eau soit à fumée, sont généralement faits de ce même métal; ils sont fabriqués par soudure à recouvrement, en partant de bandes de tôle, ou mieux étirés sans soudure. Pour les pièces de forme spéciale telles que les fonds bombés, les têtes de dômes ou de bouilleurs, les armatures de trous d'homme, etc., l'emploi de la tôle emboutie à la presse est devenu de pratique courante. Certaines pièces compliquées peuvent être ou façonnées à la forge, ou coulées en acier extra-doux. La fonte ordinaire est proscrite.

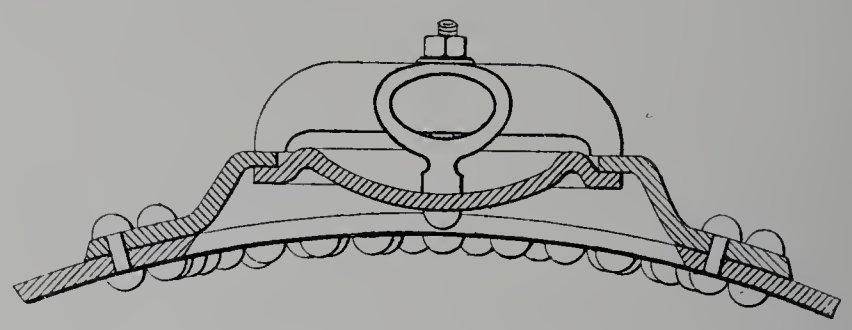


Fig. 21. — Armature de trou d'homme. (Fitzner et Gamper.) Coupe en travers.

Les travaux d'emboutissage ne souffrent pas la médiocrité. La qualité supérieure des tôles et les outillages perfectionnés permettent d'obtenir en ce genre des pièces remarquables. Quant à la soudure, les techniciens ne sont pas encore tous d'accord sur

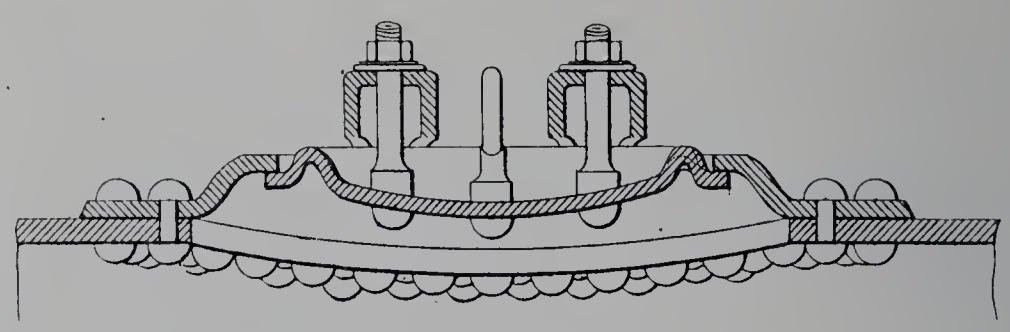


Fig. 22. — Armature de trou d'homme. (Fitzner et Gamper.) Coupe en long.

l'étendue des applications qu'il convient d'en faire dans la construction des appareils à vapeur ni sur les dispositions de soudure admissibles : c'est là un sujet délicat, qui réclame beaucoup de prudence. Quoi qu'il en soit, plusieurs constructeurs, exposants de la Classe 19, présentent des collections extrêmement intéressantes de pièces forgées, de beaux travaux d'emboutissage et de soudure exécutés dans leurs ateliers : signalons la Société anonyme Fitzner et K. Gamper, de Sosnowice (Russie), la Cie de l'Usine métallique de Saint-Pétersbourg, etc. Les figures 21 et 22 montrent une disposition de trou d'homme de MM. Fitzner et Gamper.

Dans cette intéressante spécialité rentre notamment le façonnage des pièces destinées à former les foyers intérieurs. Les tubes-foyers sont souvent ondulés, suivant le sys-

tème Fox ou les systèmes dérivés; on dote ainsi la pièce de nervures circulaires résistant à l'écrasement, en même temps qu'on lui donne de l'élasticité dans le sens longitudinal : toutefois il ne convient pas de trop multiplier les replis, sous peine d'avoir une pièce susceptible de se déformer en grand. Nous reviendrons, dans la revue des chaudières exposées, sur les foyers ondulés de la Société Fitzner et K. Gamper et sur leur procédé de fabrication. Les figures 23 et 24 indiquent une forme d'ondulation adoptée par la Deighton patent flue and tube C°, de Leeds (Angleterre), ainsi que l'installation employée par cette maison pour l'épreuve hydraulique des viroles.

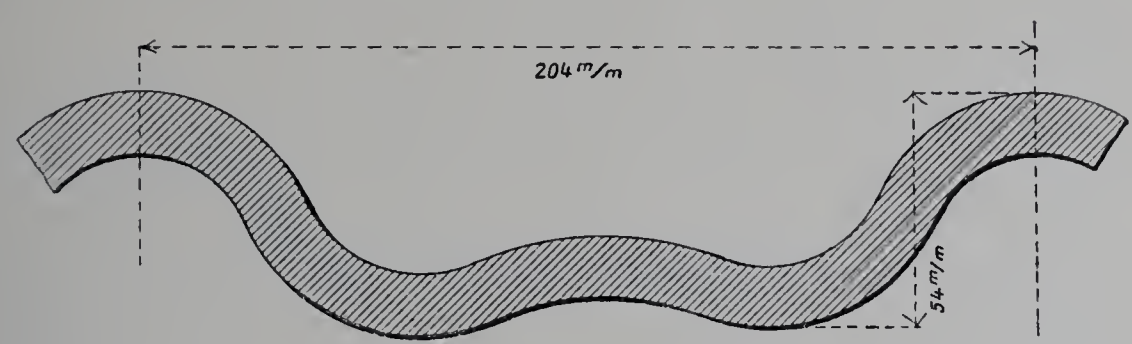


Fig. 23. — Foyers ondulés de la Deighton C°. Forme de l'ondulation.

La mise en œuvre des matériaux doit être l'objet de soins très attentifs, notamment pour se tenir en garde contre les modifications que les qualités mécaniques du métal subissent en fonction de la température. On ne tient pas encore assez de compte, dans

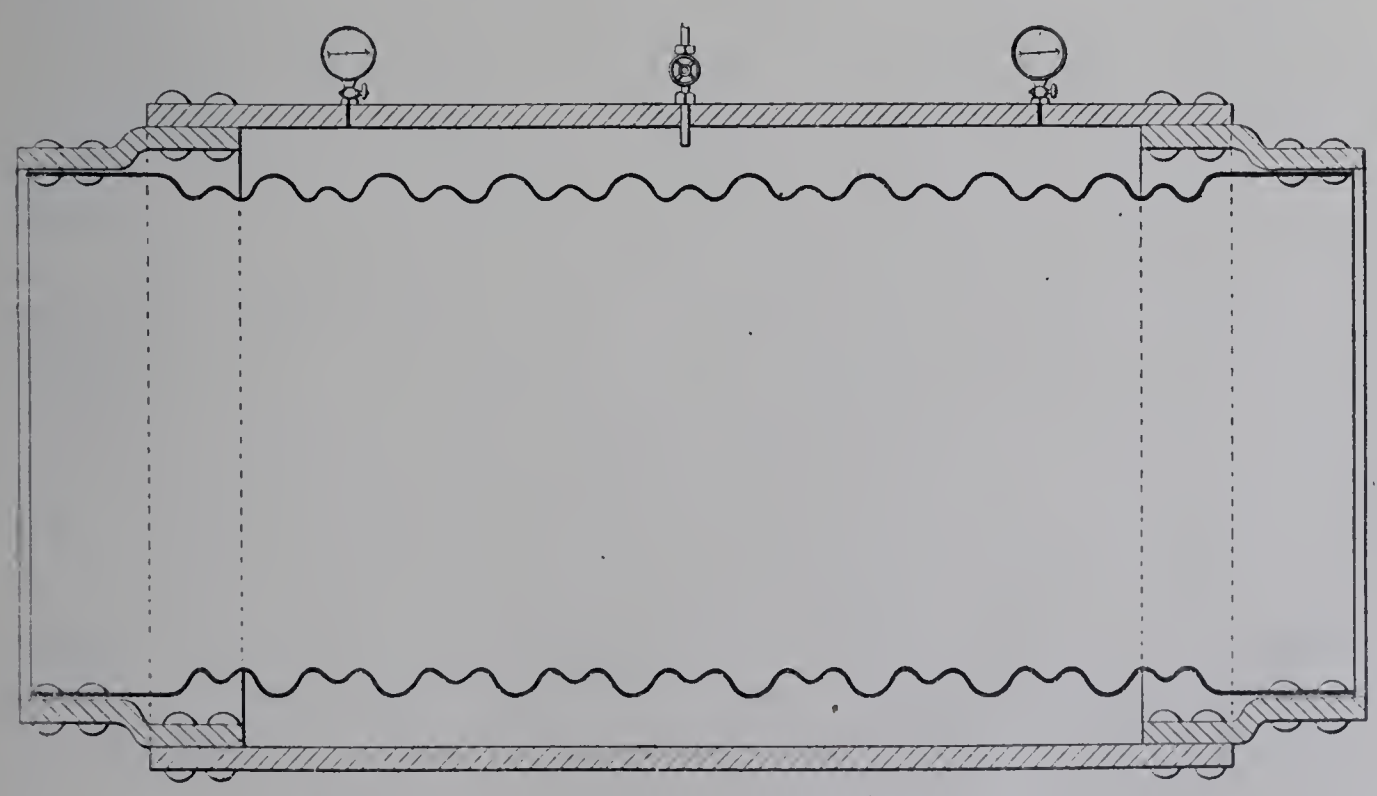


Fig. 24. — Foyers ondulés de la Deighton C°. Installation pour l'épreuve hydraulique.

tous les ateliers, de phénomènes pourtant bien connus, tels que celui de la fragilité du fer aux environs de 300 degrés (*fragilité au bleu*). Il faut éviter rigoureusement que les travaux de découpage des tôles, de façonnage des pinces, de cintrage, de rectification

de forme ne puissent amorcer des fissures ou, d'une manière générale, affecter le métal. Les tôles modernes, si douces qu'elles puissent être, réclament beaucoup de ménagements. Il ne doit plus être question de trous de rivets simplement percés au poinçon ou mis en coïncidence par des coups de marteau donnés sur des broches. Les trous doivent être forés et alésés sur tôles assemblées. Il importe que la rivure soit assez bien proportionnée et exécutée pour réduire au minimum la nécessité du matage. Nous verrons que les établissements Jacques Piedboeuf, de Jupille (Belgique), suppriment le matage radicalement.

Les générateurs des types actuels, en particulier ceux à tubes d'eau, comportent un grand nombre d'assemblages, amovibles ou non : fixation des tubes sur les plaques, les collecteurs ou les boîtes de jonction, fermeture des orifices de nettoyage, etc. De grands et heureux progrès ont été faits dans la manière de comprendre ces assemblages et de les exécuter. Les tubes sont parfois vissés à demeure: plus généralement, ils sont dudgeonnés à l'aide d'outils soigneusement appropriés et leur extrémité est façonnée de manière qu'un épaulement franc oppose au déboîtement une résistance certaine. Dans le cas où il s'agit de tubes amovibles, avec système d'emmanchement différentiel, on a soin de disposer des pièces de garde rendant impossible l'accident d'un déboîtement. Pour tous les tampons de trous de poing, la disposition autoclave est de règle : s'il subsiste encore de rares exceptions, elles tendent à promptement disparaître.

Accidents de chaudières. — La masse d'eau à haute température contenue dans une chaudière à vapeur constitue un accumulateur d'énergie fort commode pour la stabilité du fonctionnement, mais, en cas de rupture de l'appareil, la libération soudaine de cette énergie emmagasinée peut engendrer de violents effets dynamiques. On réduit l'ampleur possible de ces effets par l'emploi de générateurs dont les parties sujettes à avarie se composent d'éléments de petit diamètre; en outre, certains types ne renferment au total qu'une faible masse de liquide, ce qui impose une limite absolue à la quantité d'énergie susceptible de se transformer en travail destructeur. Par contre, diviser l'appareil en petits éléments, c'est multiplier les assemblages et par conséquent les chances de désassemblage; c'est aussi rendre plus complexes les questions relatives au départ de la vapeur formée, au renouvellement de l'eau sur les surfaces de chauffe, au nettoyage du système. Réduire la quantité totale d'eau contenue, c'est accroître le risque de manque d'eau et rendre plus difficile la conduite régulière du générateur. Les grandes catastrophes sont une éventualité terrible; les accidents de détail, bien que n'offrant que peu d'ampleur sous le rapport des effets mécaniques, sont ceux qui ont, durant ces années dernières, abouti par leur répétition au plus grand nombre de victimes, tant sont dangereuses et facilement mortelles les brûlures par l'eau et la vapeur, ainsi que l'inhalation des gaz repoussés hors du foyer.

Toutefois, à mesure que les connaissances techniques se développent, que la construction se perfectionne, que les usagers se rendent un compte plus clair des nécessités de visite complète, de bon entretien et de conduite prudente des appareils, le risque global va

s'atténuant. C'est ce que démontre, pour la France, d'une manière saisissante le tableau suivant, extrait de la statistique du Ministère des Travaux publics [1] et donnant, pour chaque période quinquennale depuis 1881, le nombre moyen des personnes mortellement frappées [2] par les accidents d'appareils à vapeur, par 10,000 appareils et par an :

1881-1885	3,7
1886-1890	2,6
1891-1895	1,9
1896-1900	1,6

Il est vrai que ces moyennes portent à la fois sur les générateurs de vapeur et sur les récipients définis par les articles 30 et 33 du décret du 30 avril 1880; or le risque provenant des récipients est moindre, à nombre égal d'appareils, que celui provenant des générateurs; à ne considérer que ceux-ci, les chiffres précédents devraient donc être légèrement majorés; mais le sens de la conclusion resterait le même : un progrès considérable a été réalisé depuis vingt ans et, actuellement, la probabilité d'accident mortel pour le personnel préposé aux générateurs de vapeur ne constitue qu'un risque inférieur à celui d'un grand nombre d'autres travaux industriels.

Ce n'est nullement à dire que la question de sécurité doive être regardée comme résolue et qu'il ne soit plus besoin de s'en préoccuper. En matière de protection de la vie humaine, on ne saurait se tenir pour satisfait tant qu'il reste quelque chose à faire.

Associations pour la surveillance des appareils à vapeur. — Au nombre des influences qui contribuent le plus heureusement à accroître la sécurité d'emploi des appareils à vapeur, il convient de citer celle des associations qui se sont formées, en Angleterre d'abord, puis successivement dans les principaux pays de l'Europe continentale, pour la surveillance de ces appareils. La fondation de la *Manchester steam users Association* par W. Fairbairn remonte à 1855. La *Boiler insurance and steam power C°* date de 1859. C'est en 1867 qu'est née l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, la plus ancienne des organisations françaises de l'espèce.

Ces institutions sont constituées sur deux types : les unes ont le caractère de sociétés d'assurances; les autres sont purement techniques et les cotisations de leurs adhérents ne servent qu'à couvrir les frais d'inspection et de direction. Les efforts des unes et des autres tendent au même but : diminuer le risque. Elles contribuent à la bonne construction des générateurs par l'autorité de leurs conseils, par les discussions de leurs congrès, par les cahiers des charges qu'elles ont établis. C'est à l'union internationale formée entre elles que l'on doit les *règles de Wurtzbourg* sur les conditions de recette

[1] *Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie*, pour l'année 1900. — Imprimerie nationale, 1901.

[2] Dans les statistiques de certains pays, de l'Allemagne par exemple, on n'inscrit comme *morts* que les victimes décédées sur le coup ou dans les quarante-huit heures; en France, on compte quiconque meurt des suites de l'accident, fût-ce à plus longue échéance. Il y a là une différence de méthode dont il y aurait lieu de tenir compte, si l'on voulait établir des comparaisons entre ces chiffres et ceux relatifs à d'autres nations.

IMPRIMERIE NATIONALE.

des matériaux destinés à la construction des chaudières, les *règles de Hambourg* sur la mise en œuvre et l'assemblage de ces matériaux [1]. Au cours de l'usage des appareils, elles veillent à ce que ceux-ci soient convenablement entretenus, réparés en temps utile et suivant les règles de l'art; leur intervention s'exerce, de la manière la plus salutaire, sous la forme des visites complètes, à l'intérieur et à l'extérieur des chaudières, auxquelles elles font périodiquement procéder par des inspecteurs exercés : l'expérience montre de jour en jour plus clairement que c'est là un mode de révision indispensable, fournissant la principale garantie contre les dangers de la détérioration et de l'usure.

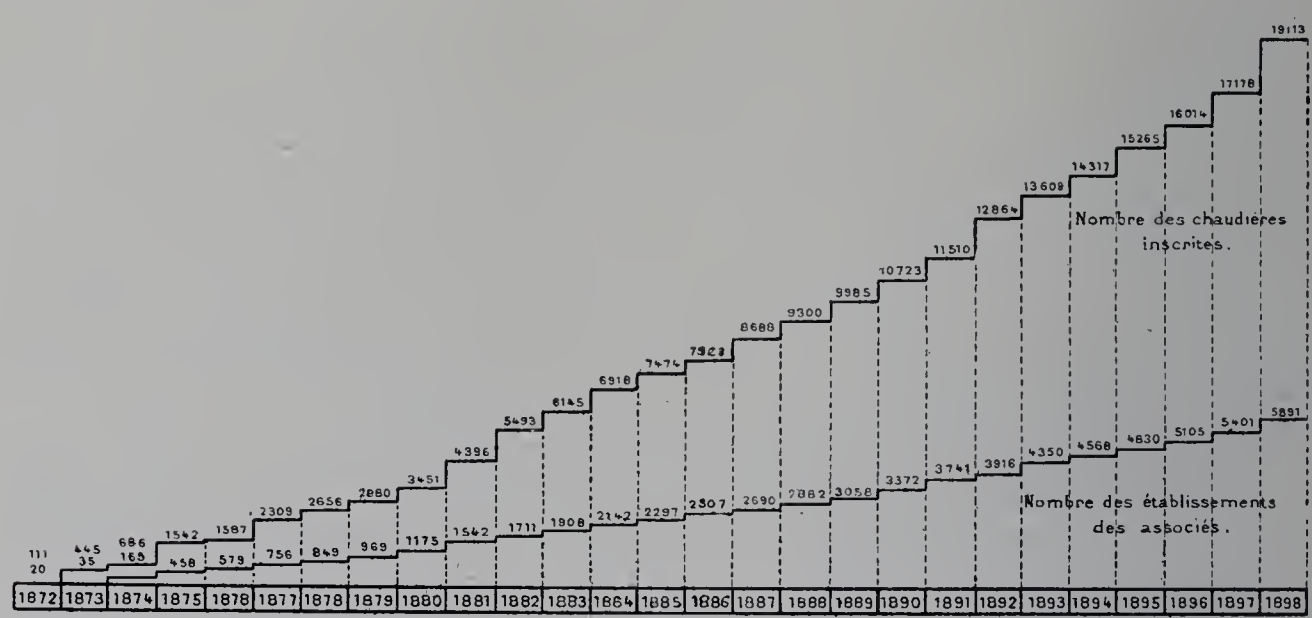


Fig. 25. — Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur. — Accroissement, de 1872 à 1898, du nombre des associés et de celui des chaudières inscrites.

En France, il existe actuellement onze Associations des propriétaires d'appareils à vapeur, dont voici la liste par ancienneté :

		Siège social.	Année de fondation.
Association	alsacienne (section française)	Nancy	1867
	du Nord de la France	Lille	1873
	parisienne	Paris	1874
	de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise	Amiens	1874
	normande	Rouen	1874
	lyonnaise	Lyon	1876
	de l'Ouest	Nantes	1878
	du Sud-Ouest	Bordeaux	1879
	du Nord-Est	Reims	1881
	du Sud-Est	Marseille	1885
	méridionale	Montpellier	1885

Elles surveillent actuellement, au total, 21,500 chaudières, réparties dans 6,960 établissements. Les figures 25 et 26 montrent quels ont été, d'année en année,

[1] *Normen des internationalen Verbandes der Dampfkessel-Ueberwachungs-Vereine.* — Hambourg, Boysen et Maasch.

les progrès de leur importance et le développement de leurs opérations. Leur collectivité présente, dans la Classe 19, une exposition du plus haut intérêt : à côté de documents qui permettent d'apprécier les services qu'elles rendent, tant pour la sécurité que pour l'économie de production et d'emploi de la vapeur, on y trouve une collection éminemment instructive de pièces montrant les principaux défauts des chaudières et les avaries caractéristiques.

En Autriche, la Société d'assurance et de surveillance des chaudières à vapeur, qui a son siège à Vienne et qui étend ses opérations dans tout l'empire, ne surveille pas moins de 15,000 générateurs. Elle expose divers instruments servant aux opérations de contrôle, notamment un appareil pour mesurer le degré de coloration des fumées.

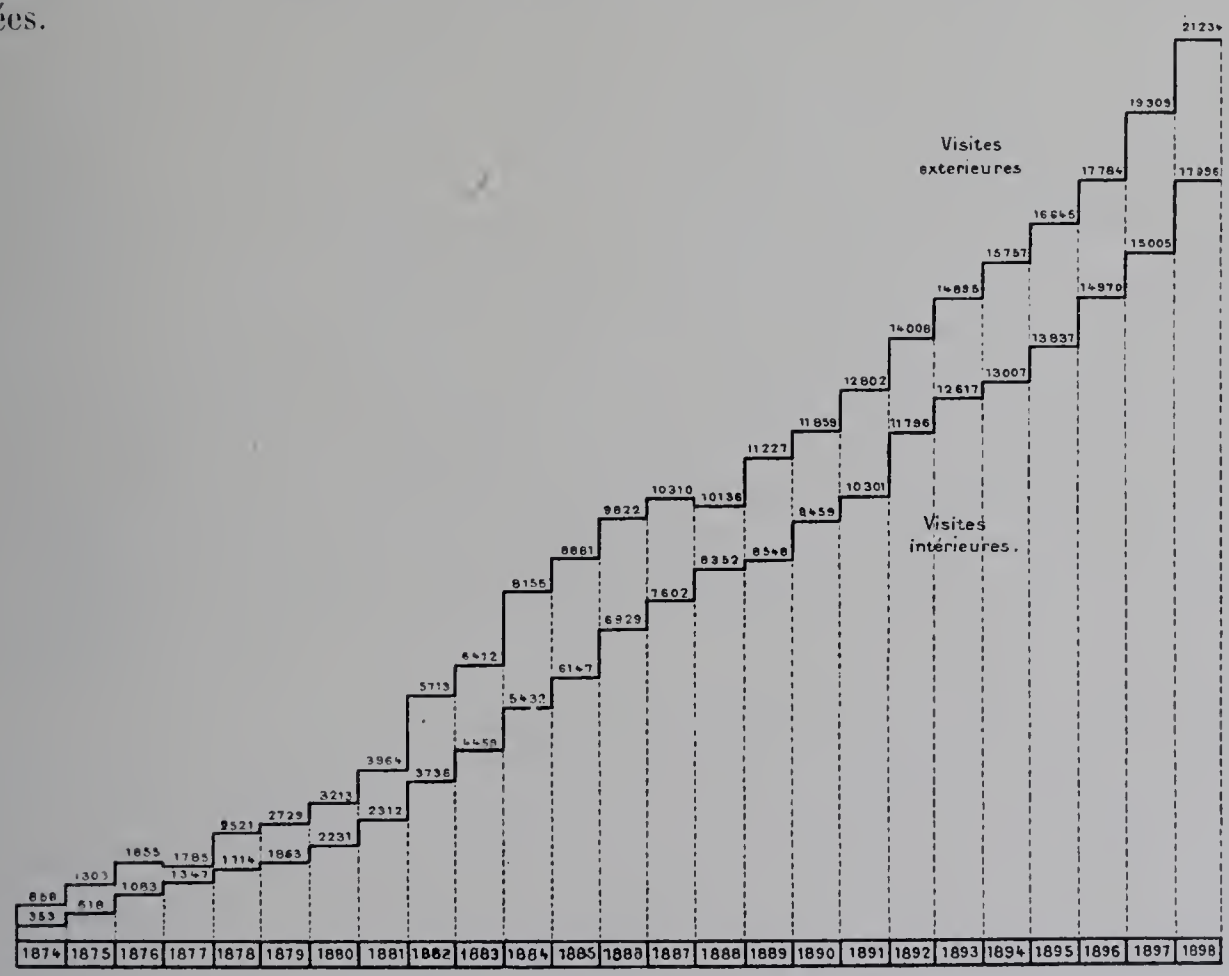


Fig. 26. — Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur. — Visites intérieures et extérieures effectuées chaque année, de 1874 à 1898.

Parmi les exposants de la Classe figurent encore l'Association des propriétaires de chaudières à vapeur de Milan, qui a des filiales à Florence et à Venise, et une collectivité formée par l'Association dont le siège est à Turin et par dix autres Associations italiennes, notamment celles de Rome et de Naples. Elles présentent des collections de documents et quelques pièces de démonstration.

II

CHAUDIÈRES HORIZONTALES À FOYER EXTÉRIEUR.

Origine du type semi-tubulaire. — Le générateur classique en France pour les installations fixes a été pendant longtemps la chaudière non tubulaire à foyer extérieur, composée d'un corps cylindrique horizontal que surmonte un dôme pour la prise de vapeur et au-dessous duquel sont disposés, parallèles au corps principal et reliés à lui par des cuissards, deux bouilleurs, rarement trois, quelquefois un seul. Le corps principal reçoit un diamètre de 1 mètre à $1^{m}40$, suffisant pour assurer au liquide, qui s'y élève jusqu'à un niveau un peu supérieur à l'axe, une large surface d'ébullition. Les bouilleurs, pour rester intérieurement accessibles, ne peuvent guère avoir moins de $0^{m}50$ de diamètre; ils ont ordinairement de $0^{m}50$ à $0^{m}70$. Avec deux bouilleurs de $0^{m}60$, chauffés sur tout leur pourtour, et un corps principal de $1^{m}40$ chauffé jusqu'à mi-hauteur, la surface de chauffe d'un tel générateur atteint à peine 6 mètres carrés par mètre de longueur. Il faut donner 12 mètres de long à l'appareil pour obtenir une surface de chauffe de 70 mètres carrés. On ne dépasse guère 80 mètres carrés avec les plus grands générateurs de cette classe. Leur encombrement est considérable. Le rapport de leur poids métallique à leur surface de chauffe est élevé, puisque la surface de chauffe est constituée tout entière par des tôles dont l'épaisseur est en rapport avec le diamètre des cylindres de l'appareil. Leur construction nécessite un grand travail de chaudronnerie pour une surface de chauffe donnée. Le chauffage étant purement extérieur, les maçonneries sont développées au maximum.

Mais ce vieux système offre, par contre, de sérieux avantages. Le générateur est accessible dans toutes ses parties, sans exception ni difficulté, au nettoyage et à la visite intérieure. Renfermant une grande masse de liquide, son fonctionnement présente une stabilité de régime fort commode; il supporte, sans promptes variations dans la pression de la vapeur ni dans le niveau de l'eau, les appels irréguliers de vapeur, les chargements espacés de la grille, les intermittences d'alimentation.

Pour ce qui est du rendement, une circonstance évidemment défavorable est l'étendue de la surface rayonnante du fourneau; par ailleurs, rien n'empêche de donner au générateur un vaste foyer, où la combustion sera conduite d'une allure tranquille, ni de proportionner l'appareil de manière à dépouiller les gaz de leur chaleur au contact d'une surface de chauffe offrant, par rapport à la surface de grille, une suffisante étendue.

La réserve d'énergie contenue dans un générateur de ce système en rend l'explosion particulièrement redoutable, si l'appareil vient à se rompre sans qu'il y ait manque d'eau; mais l'expérience acquise dans l'art de construire et de réparer ce genre de chaudières, la facilité de visite et d'entretien qui les distingue permettent de réduire au minimum la probabilité d'un tel accident.

Ce type, dont l'emploi dans nos usines a été si général qu'on l'appelait en France

type ordinaire, et à l'étranger *type français*, est encore largement répandu, notamment parce que les bons services qu'il fournit et la facilité de son entretien prolongent son existence dans les établissements où il fonctionne. En laissant de côté les chemins de fer, les tramways et les bateaux, pour lesquels il ne peut être question d'appareils encombrants et lourds, l'industrie française emploie, en 1900, 89,500 chaudières à vapeur; sur ce total, 19,900, soit un peu plus de 22 p. 100, sont horizontales non tubulaires à foyer extérieur : or, la grande majorité des chaudières répondant à cette dénomination appartiennent au type en question. Mais, comme les tendances modernes sont d'accroître la production unitaire des générateurs et d'épargner la place, ce système perd du terrain d'année en année. A l'Exposition, personne ne le présente et notre compte rendu aurait pu en faire totalement abstraction, si nous n'avions à y rattacher d'autres types, dont le principal est le type *semi-tubulaire*.

Le générateur semi-tubulaire ne diffère, en principe, de la chaudière à bouilleurs non tubulaire que par l'adjonction d'un faisceau de tubes à fumée dans le corps cylindrique. Toutefois les proportions de l'appareil ne sont généralement plus les mêmes : le corps cylindrique ne peut recevoir plus de longueur qu'il ne convient d'en donner aux tubes à fumée, c'est-à-dire entre 5 et 6 mètres; par contre, on augmente le diamètre de ce corps, parfois jusqu'à 2 mètres et plus, pour qu'il loge un grand nombre de tubes. On obtient ainsi des appareils plus ramassés, beaucoup moins encombrants, dans lesquels le faisceau tubulaire, qui ne nécessite de la part du constructeur qu'un travail de pose, fournit 60 ou 70 p. 100 de l'étendue totale de la surface de chauffe. Cette étendue totale peut s'élever jusqu'à 200 mètres carrés, et même parfois un peu plus dans les très grands appareils.

C'est là le type qui, dans l'ordre des chaudières à grand corps cylindrique, s'est surtout substitué en France à l'antique générateur non tubulaire. A la fin de 1899, le nombre des chaudières horizontales tubulaires à foyer extérieur employées dans les usines françaises s'élevait à 10,000, sur le total de 89,500 déjà indiqué, soit 11 p. 100 de ce total.

A égalité de dimensions générales, la construction de ces générateurs est plus complexe que celle des générateurs non tubulaires; mais elle utilise les mêmes principes généraux et bénéficie de l'expérience acquise. Les bouilleurs sont disposés à peu près de même; la question du dégagement de la vapeur qui s'y forme doit être l'objet de soins plus attentifs encore que pour les générateurs non tubulaires, parce que l'encombrement du corps supérieur par les tubes à fumée et l'ébullition active qui se produit dans ce corps ne facilitent pas l'ascension de la vapeur qui a pris naissance dans les parties basses de l'appareil. La disposition des bouilleurs, le nombre et la position des cuissards doivent donc être soigneusement étudiés de manière à prêter le moins possible à l'inconvénient des ciels de vapeur. Les fonds du corps cylindrique ne peuvent plus être disposés, comme dans le générateur non tubulaire, suivant la forme la plus favorable à la résistance : il faut en assurer l'entretoisement dans la partie où ils forment plaque à tubes, l'entretoisement ou le raidissement dans la partie pleine située au-dessus du niveau de l'eau. Le diamètre des tubes doit être judicieusement choisi : s'il est trop petit,

le tirage peut devenir insuffisant et l'appareil se complique; s'il est grand, la surface de chauffe ne se trouve pas fort développée et le danger que la rupture éventuelle d'un tube peut faire courir au personnel augmente considérablement. Comme le corps cylindrique, avec le faisceau tubulaire en place, est inaccessible à la visite intérieure et d'un nettoyage difficile, et comme l'enlèvement de la tubulure est une opération pénible et coûteuse quand les tubes sont sertis à demeure dans les plaques, on munit volontiers les chaudières de ce genre de tubes à fumée amovibles, suivant la disposition due à Berendorf. Cette solution exige une construction particulièrement soignée, sans préjudice du dispositif spécial qu'il est nécessaire d'ajouter pour prévenir tout danger de départ intempestif d'un tube.

Générateurs semi-tubulaires de l'Exposition. — MM. Meunier et Cie, de Fives-Lille (Nord), qui déjà en 1889 avaient donné une exposition de générateurs semi-tubu-

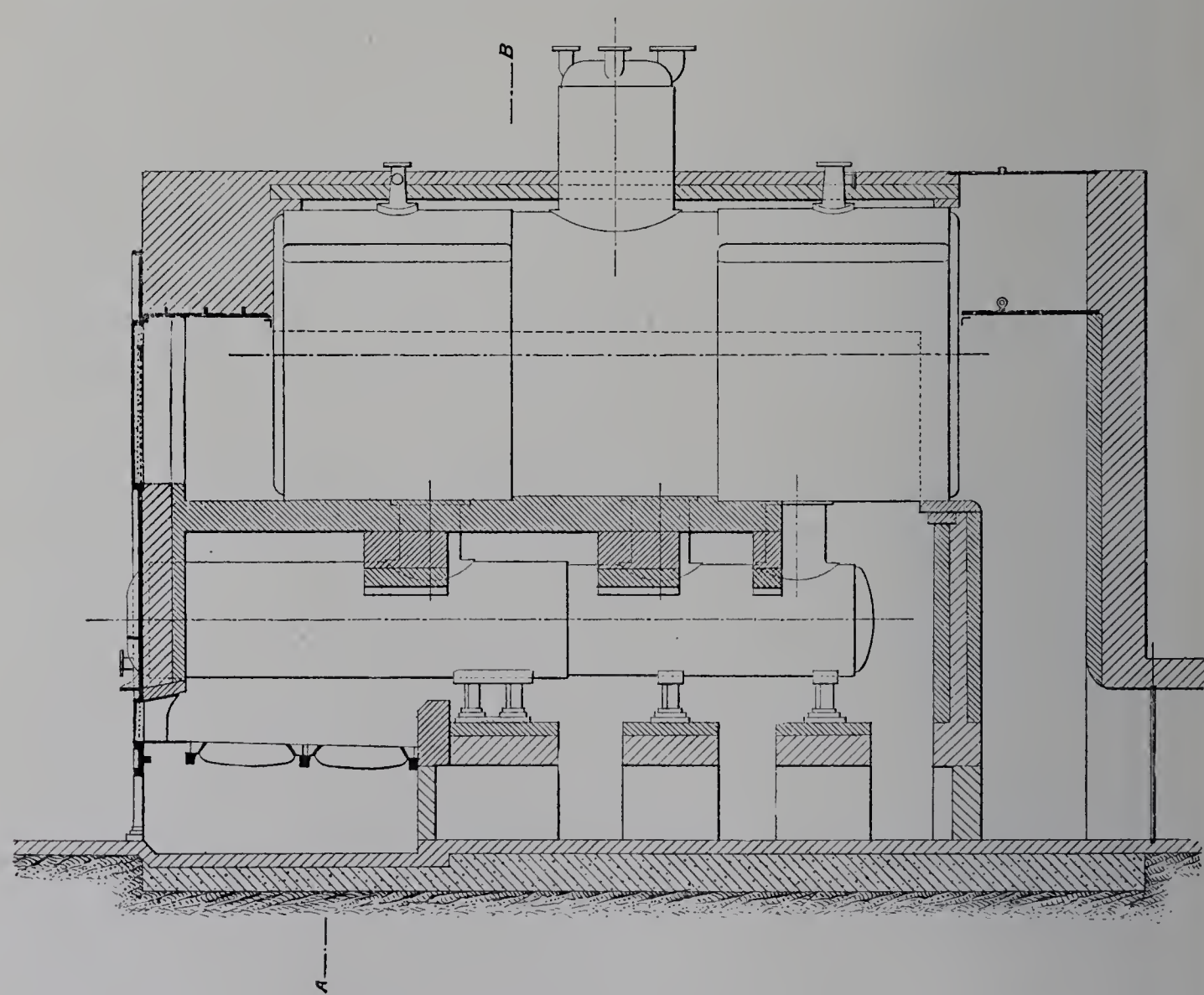


Fig. 27. — Chaudière semi-tubulaire de 235 mètres carrés de surface de chauffe. (MM. Meunier et Cie.)

laires, remarquables par le choix des matériaux et le fini de la construction, montrent aux visiteurs de 1900 deux appareils du même système, présentés sans les maçonneries, de manière qu'on puisse juger de la perfection du travail de chaudronnerie.

L'un est un générateur de 235 mètres carrés de surface de chauffe, timbré à 12^k, du modèle représenté par les fig. 27 et 28; l'autre, timbré à 10^k, offre 200 mètres carrés de surface de chauffe et porte au-dessus de son corps principal un vaste réservoir de vapeur, comme on le voit sur les fig. 29 et 30.

Ces appareils sont entièrement en acier extra-doux. Le corps principal est composé de viroles rigoureusement cylindriques, la tôle dont chacune d'elles est formée ayant ses rives unies à franc bord par un double couvre-joint; les viroles successives sont alternativement emboîtantes et emboîtées. Les couvre-joints portent quatre rangs de rivets; les rivures transversales sont doubles. Chaque bouilleur, relié au corps cylindrique par trois cuissards, se compose d'abord d'une virole longue en deux tôles (disposition que l'on ne peut se permettre qu'à la condition d'employer des tôles excellentes dans les deux sens, mais qui a l'avantage de rejeter la première rivure transversale loin du coup de feu), puis d'une virole simple d'une seule tôle; les assemblages de ces diverses tôles sont à double rivure.

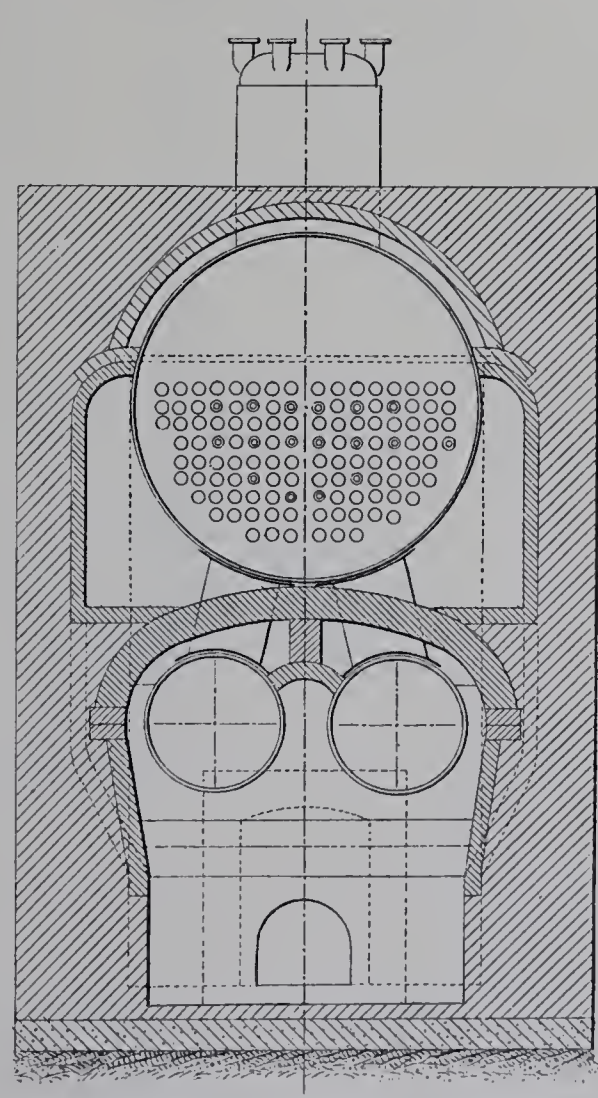


Fig. 28. — Coupe par AB de la fig. 27.

Les plaques qui ferment le corps cylindrique à ses deux bouts sont planes, embouties à leur pourtour suivant un congé d'assez grand rayon. Elles sont tubulaires sur un peu plus de la moitié de leur hauteur; un corps cylindrique de 2^m30 de diamètre (fig. 28) reçoit ainsi 118 tubes de 100 millimètres de diamètre extérieur. Ce sont des tubes amovibles, à emmanchements légèrement coniques; leur épaisseur, en dehors des emmanchements, est de 4 millimètres. Toutefois, pour assurer l'entretoisement des plaques, des tubes-tirants épais sont intercalés de place en place dans le faisceau : ils sont au nombre de 16 dans le faisceau de 118 tubes. Ces tubes-tirants sont fixés dans chaque plaque tubulaire par un écrou et un contre-écrou. Afin d'éviter qu'en aucun cas un tube amovible puisse être projeté hors de ses emmanchements, une plaque de garde est disposée sur le fond plat antérieur; pour la commodité de sa mise en place, elle est en deux parties, correspondant l'une à la moitié de gauche, l'autre à la moitié de droite du faisceau des tubes. La fig. 31 représente les extrémités d'un tube à emmanchements coniques et d'un tube-tirant, ainsi que la disposition de la plaque de garde.

Dans leur partie supérieure, où ils ne forment pas plaque tubulaire, les fonds plats sont raidis par une série de goussets les reliant à la virole cylindrique adjacente et disposés en éventail.

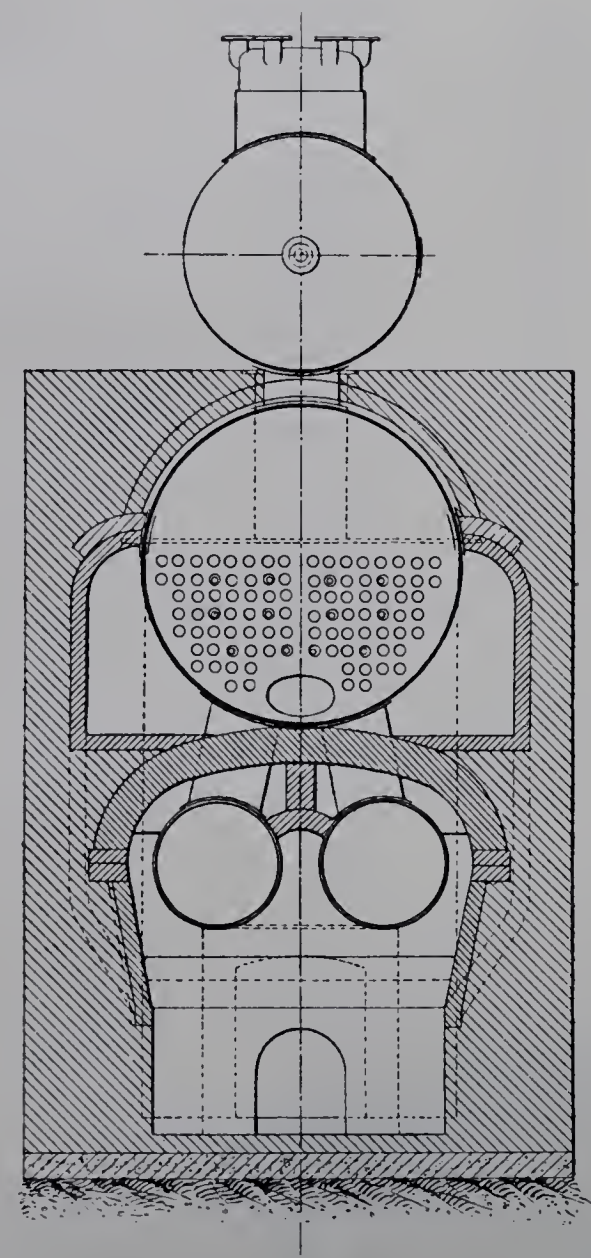


Fig. 30. — Coupe par MN de la fig. 29.

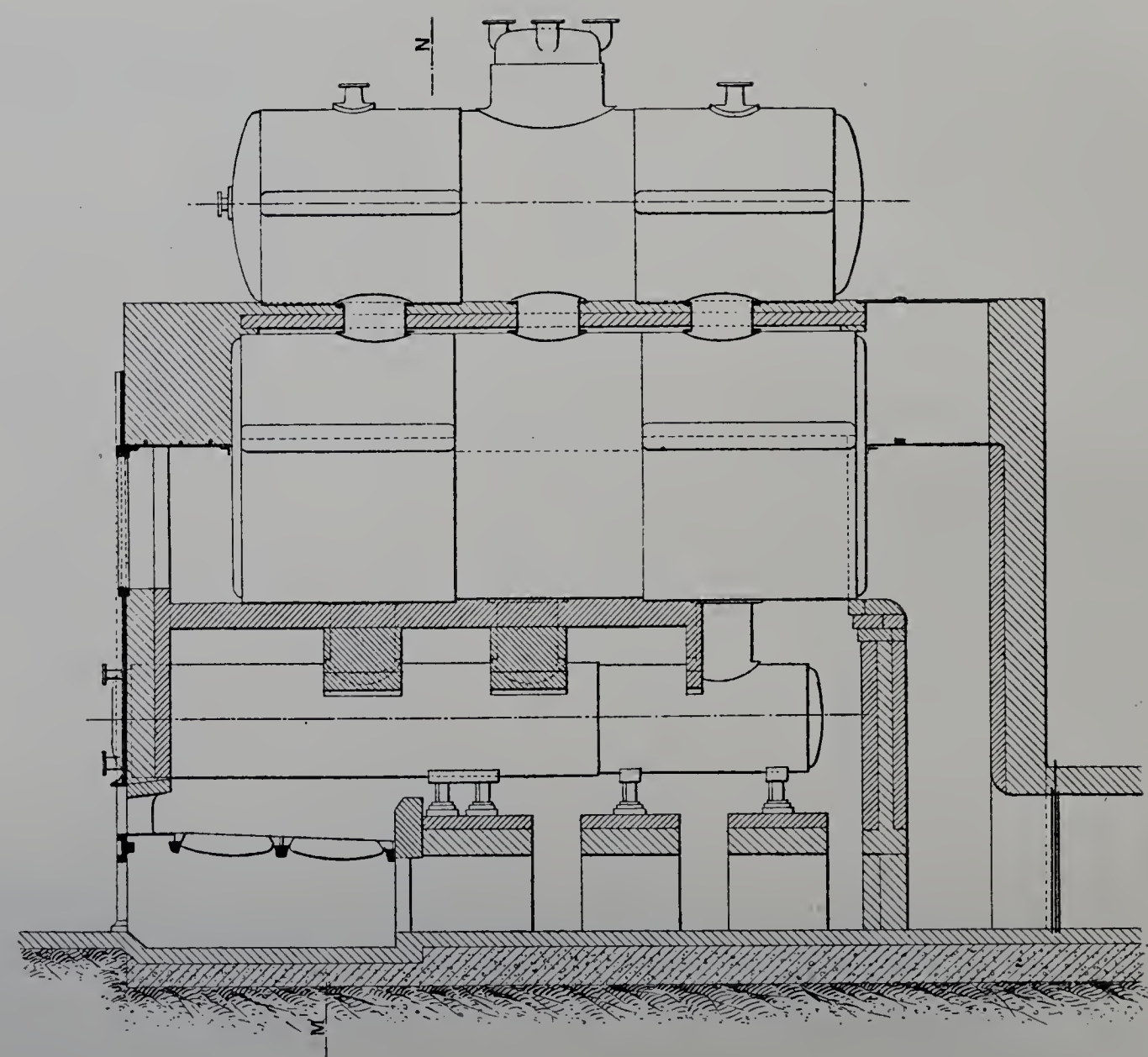


Fig. 29. — Chaudière semi-tubulaire de 200 mètres carrés. (MM. Meunier et Cie.)

La grille mesure $1^{m}90$ de longueur et $2^{m}10$ de large, soit 4 mètres carrés, pour une surface de chauffe de 235 mètres carrés, ce qui donne $\frac{S}{G} = 59$; $1^{m}80$ de longueur et $2^{m}05$ de large, soit $3^{mq}69$, pour 200 mètres carrés de surface de chauffe, ce qui donne $\frac{S}{G} = 54$. Les gaz de la combustion enveloppent les bouilleurs dans leur premier parcours d'avant en arrière, puis reviennent jusqu'à l'avant, le long de la partie basse du corps cylindrique, par deux larges carneaux latéraux; c'est en troisième et dernier parcours qu'ils passent de l'avant à l'arrière, au travers du faisceau des tubes à fumée. La plus large section de passage et le contact des maçonneries chaudes sont ainsi conservés aux gaz le plus longtemps possible, afin que la flamme s'allonge et que la combustion se complète, et la section du faisceau tubulaire n'a besoin d'être proportionnée, eu égard aux nécessités du tirage, qu'au volume d'une masse gazeuse dont la température moyenne est aussi peu élevée que possible.

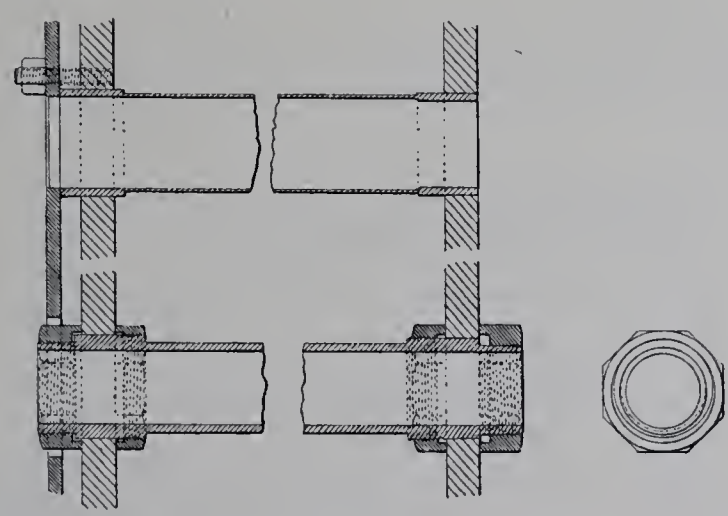


Fig. 31. — Tube Berendorf et tube-tirant. (MM. Meunier et Cie.)

La Compagnie de Fives-Lille pour constructions mécaniques et entreprises a installé et fait fonctionner dans la chaufferie La Bourdonnais un groupe de trois générateurs semi-tubulaires, offrant chacun 208 mètres carrés de surface de chauffe, avec grille de $4^{mq}24$, donnant $\frac{S}{G} = 50$.

Ces appareils (fig. 32) sont construits d'après les mêmes principes généraux que ceux qui viennent d'être décrits en détail. Les bouilleurs sont formés de trois viroles, alternativement emboîtantes et emboîtées, et à chacune desquelles correspond un cuissard; le cuissard de la virole de coup de feu est placé aussi près de l'avant que le permet la position du corps supérieur.

Ces trois grands générateurs de Fives-Lille constituent, parmi les chaudières en service pour la production de vapeur de l'Exposition, le seul groupe important qui n'appartienne pas à la classe des appareils à tubes d'eau, et la stabilité de régime, qu'ils doivent à leur grand volume de liquide, a été en certaines circonstances fort appréciée de l'Administration.

M. Armand Girard, de Paris, expose un générateur semi-tubulaire de 150 mètres

carrés de surface de chauffe, construit avec l'expérience et le soin qui font la légitime réputation de sa maison.

Une autre chaudière du système est présentée par M. Edouard Berendorf, fils de l'inventeur des tubes à fumée amovibles.

Enfin, une chaudière de 200 mètres carrés de surface de chauffe, exposée par M. Charles Crépelle-Fontaine, de la Madeleine-lès-Lille, a été établie suivant les mêmes principes; mentionnons, dans la construction de cet appareil, la disposition des tubes-tirants, qui sont établis, à l'épaisseur près, comme des tubes Berendorf, mais avec le petit cône prolongé extérieurement à la plaque tubulaire par une partie filetée sur laquelle on enfile une rondelle et qu'on coiffe d'un écrou.

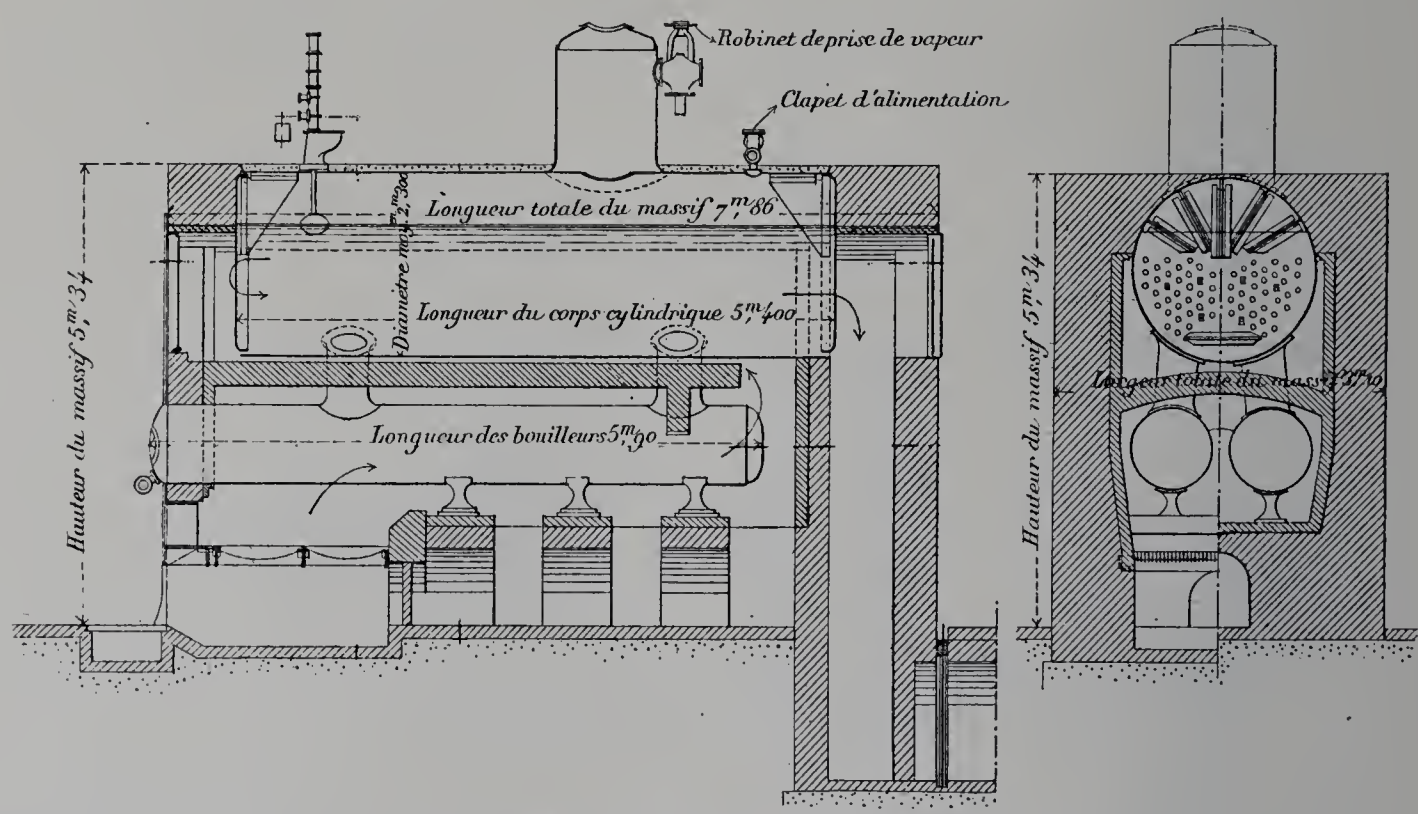


Fig. 32. — Générateur semi-tubulaire de la Compagnie de Fives-Lille.

Un appareil qui appartient au système semi-tubulaire, mais qui présente une disposition nouvelle imaginée en vue de faciliter le dégagement de la vapeur des bouilleurs, est présenté par M. Nicolas Roser, de Saint-Denis. C'est (fig. 33 et 34) un générateur de dimensions modestes : 46 mètres carrés de surface de chauffe, un corps cylindrique de 1m 20 de diamètre et 3m 20 environ de longueur, deux bouilleurs de 0m 60 de diamètre. Chacun de ceux-ci est relié au corps cylindrique, à l'Æ, par un cuissard disposé de la manière ordinaire; mais à l'N la communication est réalisée, non par un cuissard (pièce de communication que les positions relatives du foyer et de la boîte à fumée obligent toujours de placer à une distance notable de l'extrémité du bouilleur), mais par un gros tuyau, de 16 centimètres de diamètre, qui part de la génératrice supérieure du bouilleur, tout à fait à l'avant de celui-ci, et s'élève verticalement en traversant la boîte à fumée, jusqu'à une tubulure horizontale greffée, à hauteur du niveau normal de l'eau, sur le fond plat du corps cylindrique. On évite ainsi l'espèce de cul-de-sac formé, dans la disposition ordi-

naire, par la partie du bouilleur comprise entre le cuissard d'avant et la tête; de plus, la vapeur qui se dégage par le tuyau aboutit au plan d'eau sans avoir à se frayer un chemin entre les tubes à fumée. On systématise de la sorte un mode de dégagement de la vapeur des bouilleurs auquel on a recours parfois à titre d'expédient pour améliorer le fonctionnement des chaudières, lorsqu'on reconnaît qu'il se forme, à l'avant des bouilleurs, des ciels de vapeur exagérés : on établit, après coup, un tuyau de communication ayant à peu près le tracé de la communication de large diamètre que nous voyons ici substituer de propos délibéré au cuissard d'avant.

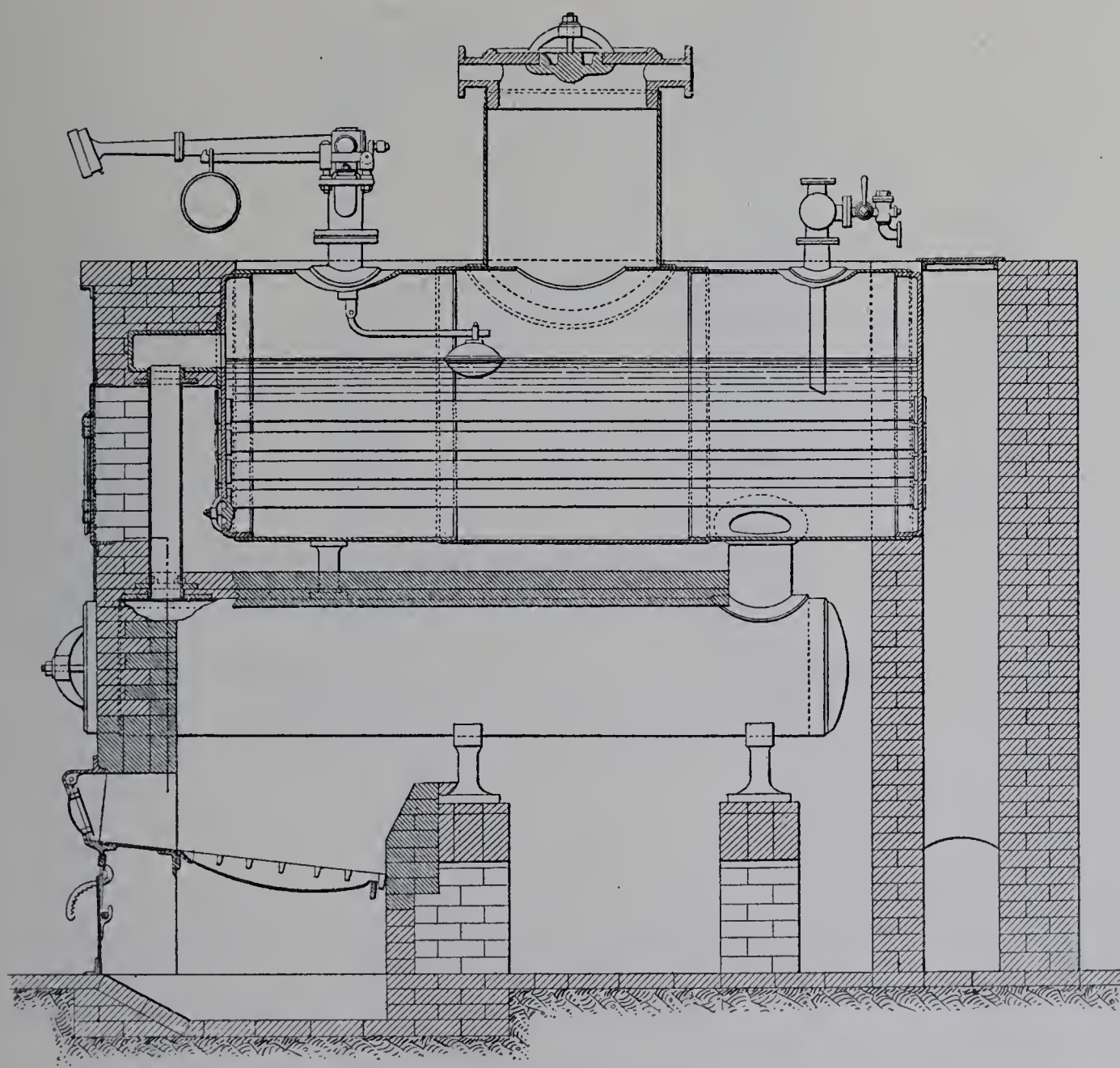


Fig. 33. — Générateur semi-tubulaire, système Roser. — Coupe longitudinale.

Pour la stabilité de l'édifice, on ne peut compter sur cette communication coudée comme sur un cuissard. Aussi M. Roser a-t-il, vers l'*AV*, disposé un chandelier spécial pour soutenir le corps cylindrique. Comme il ne s'agit pas d'un très grand générateur, ce côté de la question ne créait pas, dans le cas présent, une grande difficulté.

L'arrangement ainsi proposé par M. Roser tend à canaliser le dégagement de la vapeur

et à favoriser la circulation du liquide dans le sens où celle-ci cherche à s'établir d'elle-même.

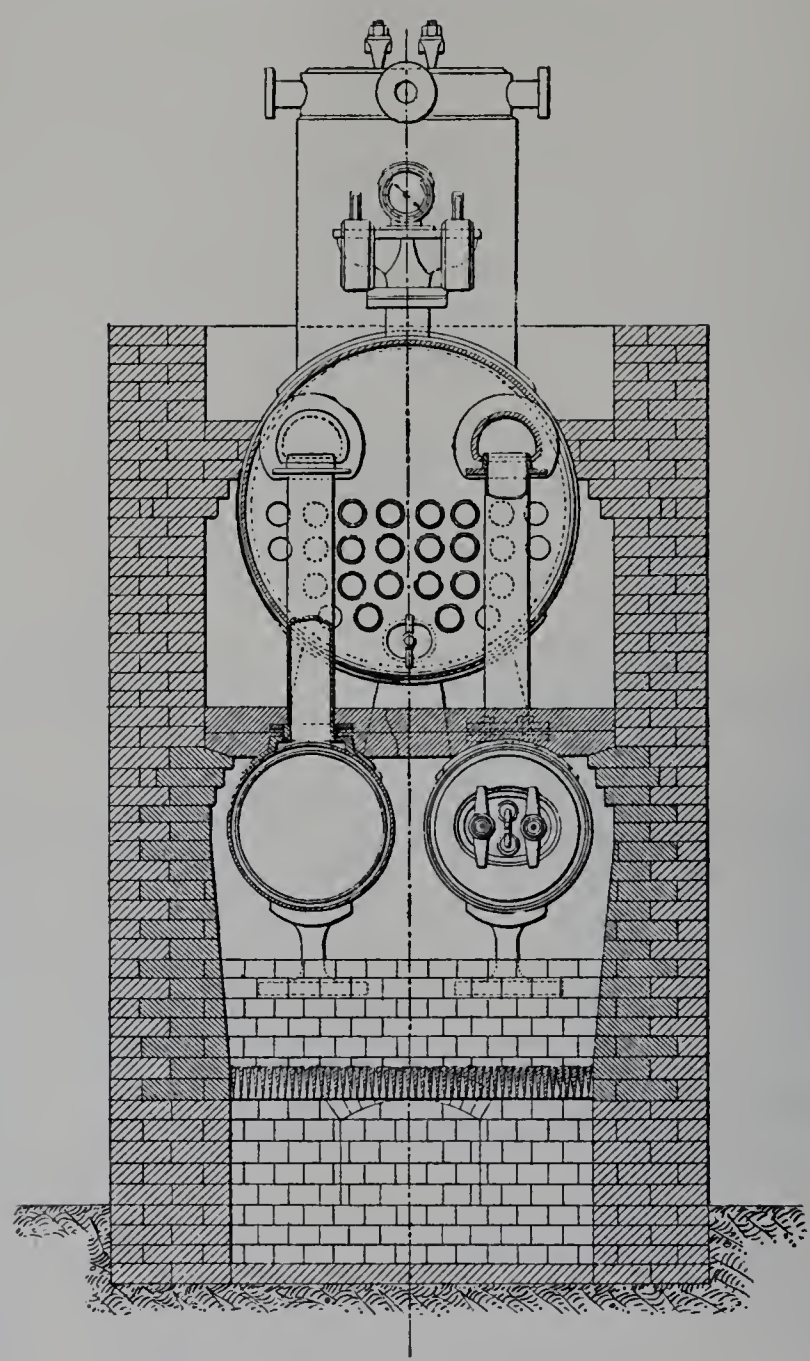


Fig. 34. — Élévation et coupe transversales.

M. Antonin Montupet, de Paris, renverse au contraire le sens naturel de la circulation. Le générateur, de $37^{mq}50$ de surface de chauffe et $1^{mq}10$ de surface de grille, qu'il expose en fonctionnement dans l'usine La Bourdonnais, offre les dispositions représentées fig. 35 et 36 : dans les bouilleurs, des tôles inclinées formant cloison rejettent toute la vapeur vers les communications d'arrière, et celles-ci sont coiffées, pour le dégagement direct de cette vapeur à hauteur du plan d'eau dans le corps cylindrique, d'une allonge à section rectangulaire, étendue de $0^{m}70$ dans le sens de l'axe du générateur et large de $0^{m}20$, qui passe dans un intervalle libre réservé entre la moitié de gauche et la moitié de droite du faisceau des tubes à fumée.

Multibouilleurs. — De la vieille chaudière à bouilleurs est dérivé un autre type, non tubulaire celui-là, dans lequel tout l'appareil est composé d'un certain nombre de

bouilleurs identiques ou presque identiques entre eux : ces bouilleurs sont superposés sur plusieurs files verticales et ceux du haut, chauffés seulement dans leur partie inférieure et renfermant le plan d'eau, remplacent par leur ensemble le corps cylindrique unique du système primitif. Des soins particuliers doivent être pris pour que le dégagement de la vapeur formée dans les bouilleurs inférieurs soit parfaitement assuré.

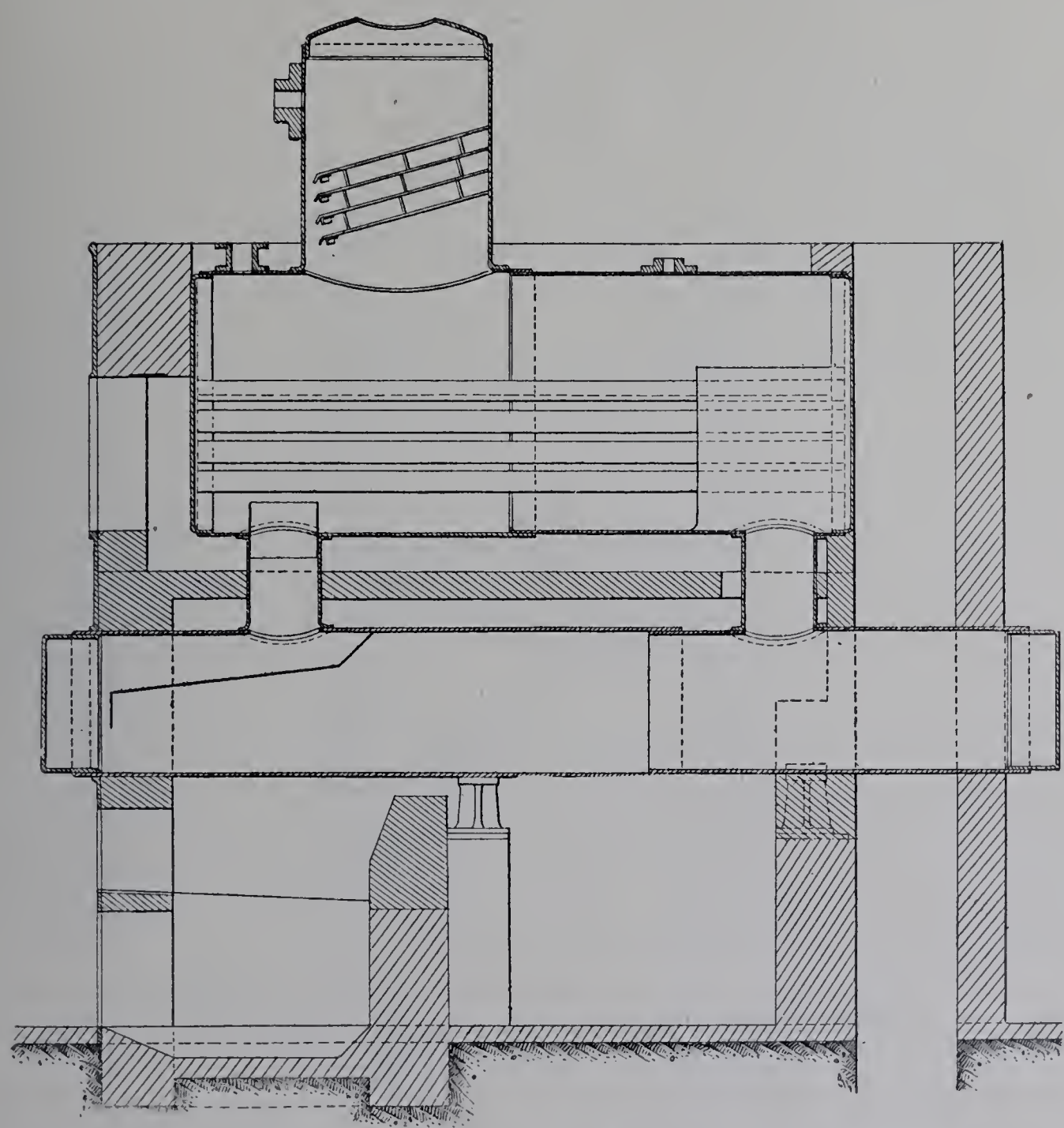


Fig. 35. — Générateur semi-tubulaire, système Montupet. — Coupe longitudinale.

Un générateur de ce système est exposé par M. Charles Crépelle-Fontaine. Il comprend deux files verticales de deux bouilleurs, de sorte que l'ensemble se présente à peu près comme la juxtaposition de deux chaudières cylindriques à un seul bouilleur inférieur. Au-dessus des deux corps du haut est disposé transversalement un ballon collecteur de vapeur, commun aux deux éléments. Chacun des bouilleurs inférieurs est relié au corps cylindrique correspondant par deux cuissards, voisins des extrémités.

En vue de systématiser et d'activer la circulation, M. Crépelle-Fontaine dispose à l'intérieur du bouilleur un écran qui canalise vers le cuissard d'arrière, comme dans la chaudière Montupet, la vapeur formée sur la tôle de coup de feu; de plus, il surmonte ce cuissard d'un émulseur Dubiau. Celui-ci est constitué par un jeu de tuyaux de petit diamètre, dressés verticalement les uns à côté des autres, ouverts en sifflet

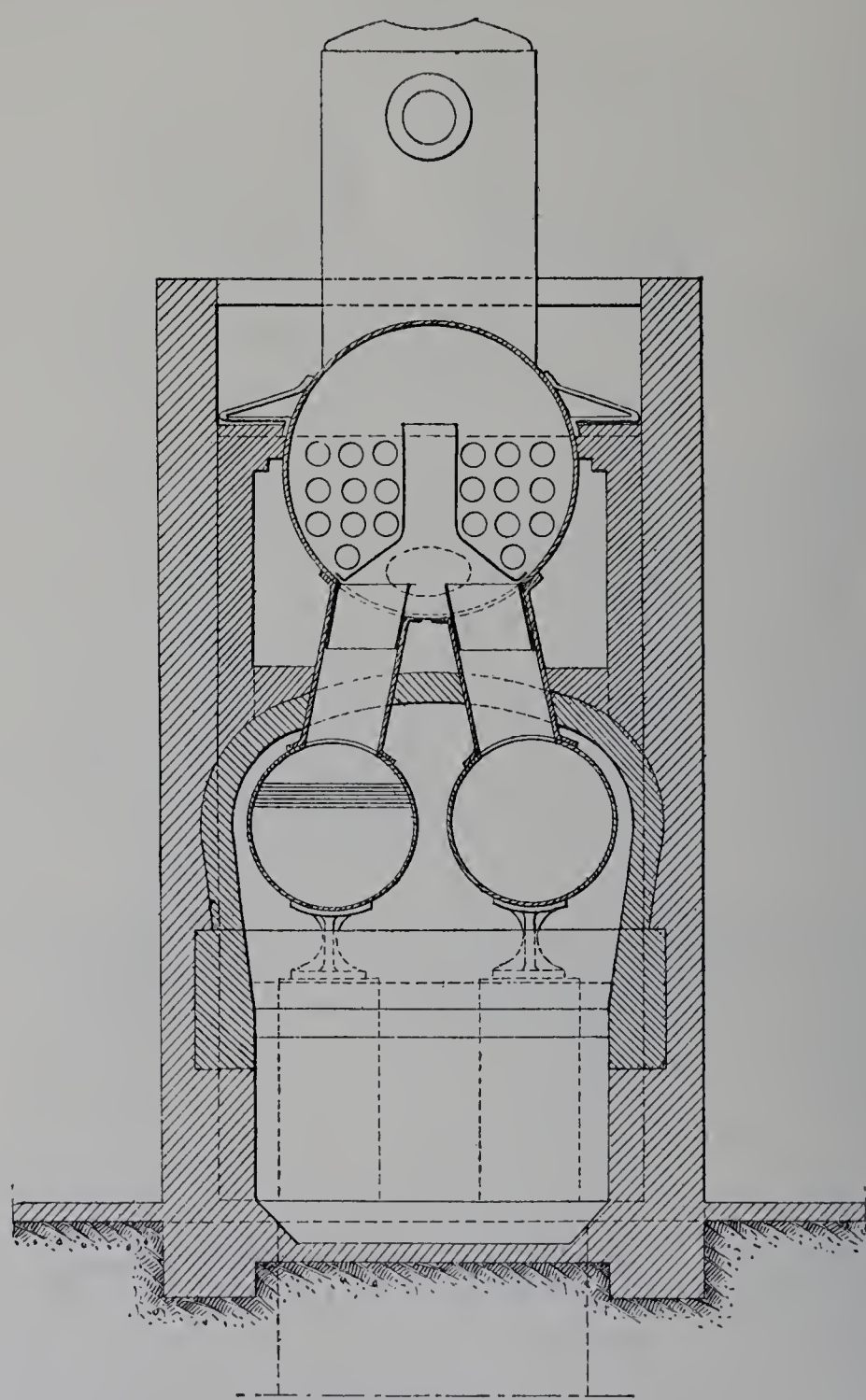


Fig. 36. — Coupe transversale.

par le bas et débouchant, par le haut, un peu au-dessus du niveau statique de l'eau; ce jeu de tuyaux traverse le couvercle d'un coffre qui coiffe le débouché. La vapeur commence par s'accumuler à la partie supérieure du coffre, refoulant l'eau jusqu'au niveau des extrémités biseautées des tubes; son dégagement se produit à partir de cet instant et s'accompagne, à raison du petit diamètre des tubes, de l'entraînement de toute l'eau qui se trouve prise entre les bulles.

III

CHAUDIÈRES HORIZONTALES À FOYER INTÉRIEUR.

Principe des appareils à foyer intérieur. — Le système du foyer extérieur, qui représente l'idée première du chauffage des générateurs, laisse le constructeur entièrement maître des dimensions de la grille; sur cette grille, environnée latéralement de parois réfractaires, on obtient facilement une température élevée de combustion : c'est même d'une exagération qu'il faut se garder sous ce rapport, car si, poussant trop le feu, on produisait la combustion sans un excès d'air suffisant, en même temps qu'on élèverait la température moyenne des gaz du foyer, on accroîtrait la perte par combustion incomplète. Rien n'empêche de dépouiller les gaz de leur chaleur jusqu'au degré voulu. Mais le système n'est évidemment pas avantageux sous le rapport des déperditions par rayonnement et par conductibilité du fourneau.

Le moyen d'empêcher le foyer et les conduits de flamme de céder de la chaleur à l'extérieur en pure perte, c'est de les loger dans la chaudière. La construction se complique. En même temps, la largeur des grilles se trouve assez étroitement limitée; il est vrai qu'il suffit, pour une combustion donnée, d'une moindre surface de grille que dans l'autre système, car il convient d'imprimer au feu une allure vive, sans quoi les flammes auraient tendance à s'éteindre prématurément par refroidissement. La chaleur rayonnante issue du foyer est intégralement recueillie, puisque dans toutes les directions (sauf dans celle qui aboutit à la porte de chargement) le feu est environné par les parois métalliques constituant la surface de chauffe directe. Celle-ci atteint, dans ce système, une remarquable efficacité. Quant à l'étendue totale de la surface de chauffe, nécessaire pour que les gaz perdent suffisamment de chaleur par convection, on l'obtient, soit en donnant un grand développement aux carneaux intérieurs ou interposant dans ces carneaux des bouilleurs de formes diverses, soit en mettant à la suite de la surface de chauffe directe un faisceau de tubes à fumée.

Si la France est le pays des chaudières à bouilleurs et à foyer extérieur, c'est le système du foyer intérieur, en particulier sous la forme du tube-foyer, qui domine dans les établissements industriels de l'Angleterre et de l'Europe centrale.

§ 1. Types sans faisceau tubulaire.

Origine de ces types. — Dans une chaudière formée simplement d'un corps cylindrique horizontal, plaçons un ou deux tubes-foyers traversant l'appareil de bout en bout : nous avons le générateur classique de Cornouailles ou du Lancashire, dont les règles essentielles de construction remontent à W. Fairbairn et d'où sont dérivés tous les générateurs horizontaux à foyers intérieurs cylindriques. C'est le prototype de cette

classe de générateurs, comme la vieille chaudière à bouilleurs est celui des appareils à foyer extérieur.

La partie de chacun des tubes-foyers qui contient la grille ou qui lui fait immédiatement suite absorbe par mètre carré un flux de chaleur considérable. Quand les gaz chauds arrivent à l'extrémité de l'appareil, ils conservent encore cependant une certaine proportion de chaleur utilisable; c'est pourquoi on les ramène extérieurement le long de la partie inférieure du corps cylindrique, par des carneaux maçonnés : leur température est assez modérée pour que la chaleur cédée en pure perte à l'extérieur par la maçonnerie de ces carneaux ne soit plus de grande importance.

Générateurs Galloway. — Deux tubes-foyers, auxquels succède, dans le sens de la longueur de l'appareil, un carneau intérieur unique à large section méplate, entre-

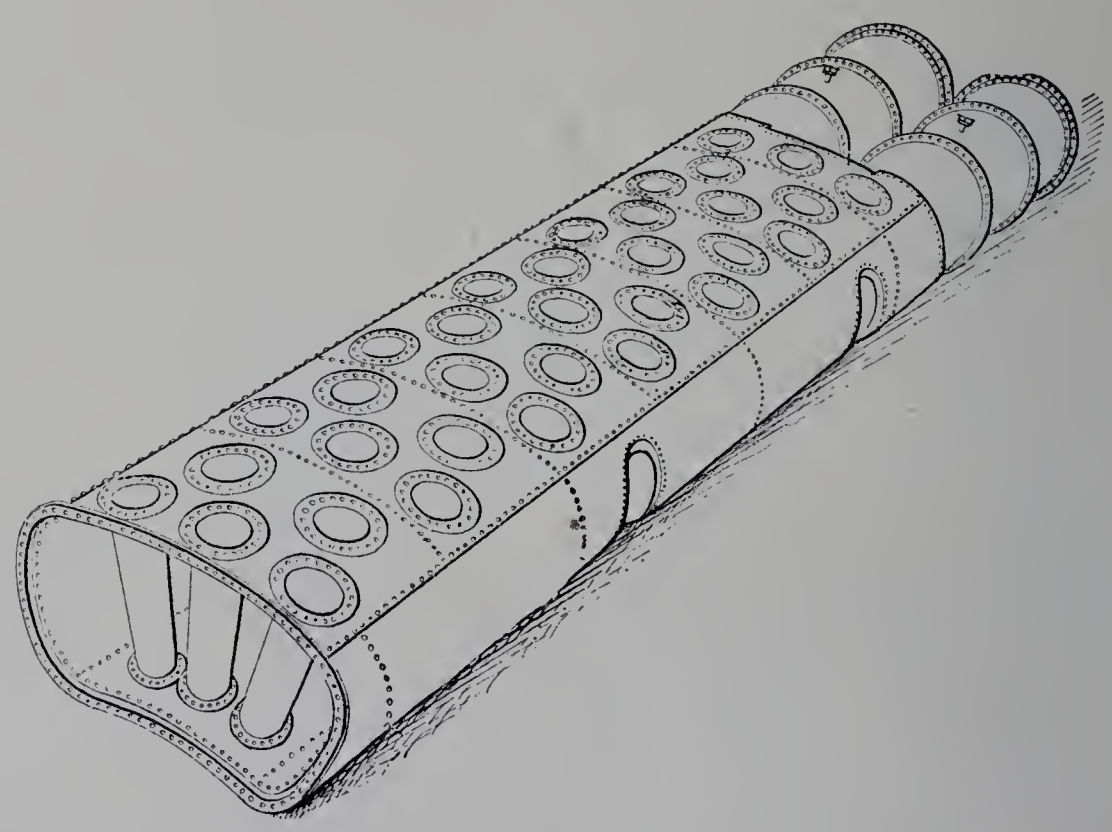


Fig. 37. — Système de chauffage intérieur d'une chaudière Galloway.

toisé par une série de bouilleurs transversaux qui brassent les gaz et contribuent beaucoup à l'efficacité de la surface de chauffe, tels sont les caractères essentiels du système Galloway : la fig. 37 fait comprendre cette disposition générale. La Société Galloway, de Manchester, a acquis dans la construction de ce type une ancienne et grande célébrité. Elle expose et fait fonctionner dans l'usine Suffren six générateurs (fig. 38 à 40) offrant chacun 104 mètres carrés de surface de chauffe et 3^{mq} 50 de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 30\right)$. Le corps cylindrique de chacun de ces appareils mesure 2^{m} 44 de diamètre et 9^{m} 15 de longueur; les deux foyers intérieurs, de 0^{m} 965 de diamètre, se prolongent par le carneau intérieur dont la fig. 40 représente la coupe transversale : la paroi du haut et celle du bas sont entretoisées par 40 tubes-bouilleurs transversaux; les

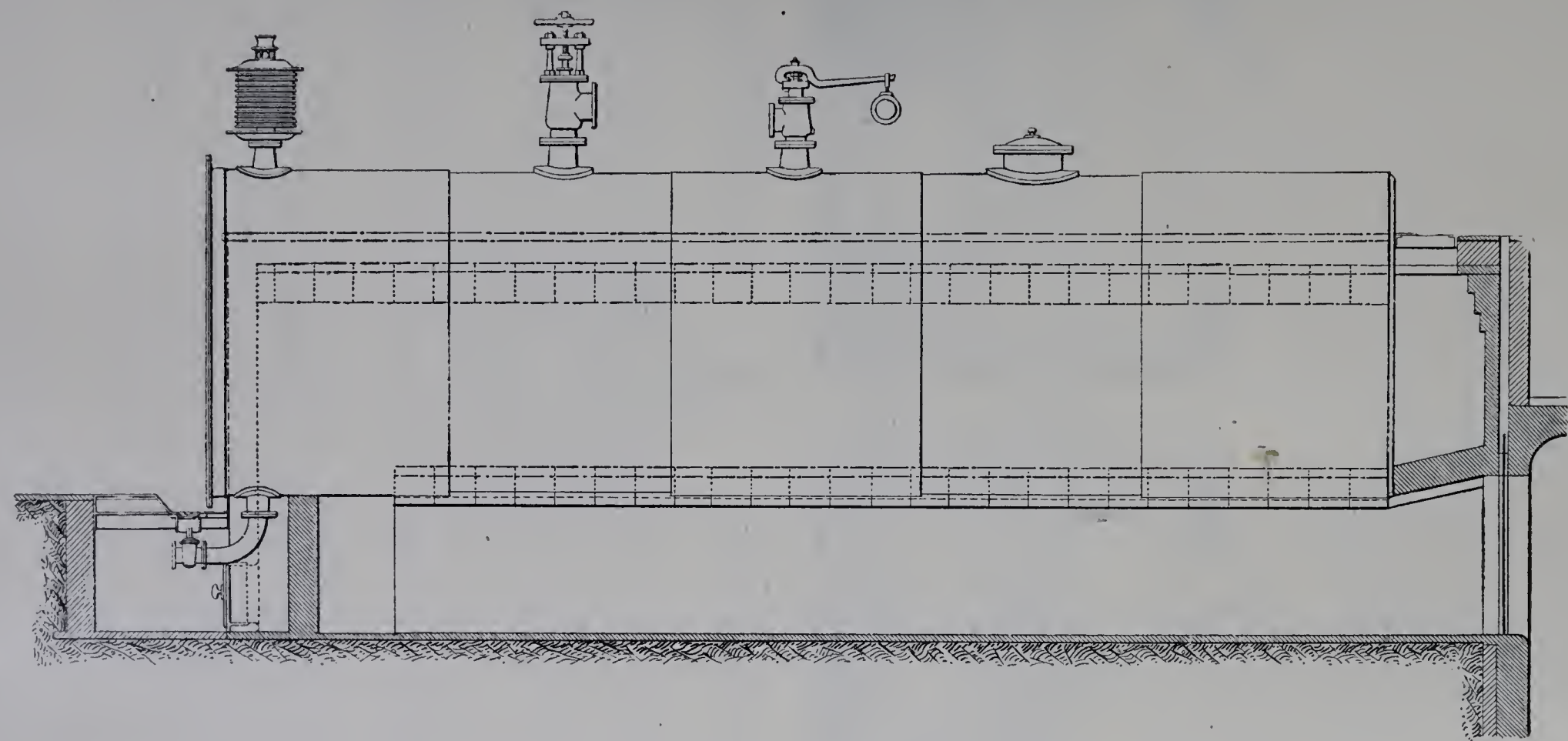


Fig. 38. — Chaudière Galloway. Élévation longitudinale, avec coupe axiale sur les carneaux de maçonnerie.

IMPRIMERIE NATIONALE.

parois latérales demi-cylindriques sont armaturées par 14 poches rentrantes, qui sont aux bouilleurs transversaux ce qu'en architecture les demi-colonnes engagées sont aux colonnes. Ces chaudières fonctionnent à une pression de 11 kilogrammes par centimètre carré, comme toutes celles qui participent au service de l'Exposition. Elles ont été éprouvées au double par la presse hydraulique. Les rivures longitudinales du corps cylindrique sont à francs bords et à double couvre-joint, avec quatre rangs de rivets; les rivures transversales sont doubles.

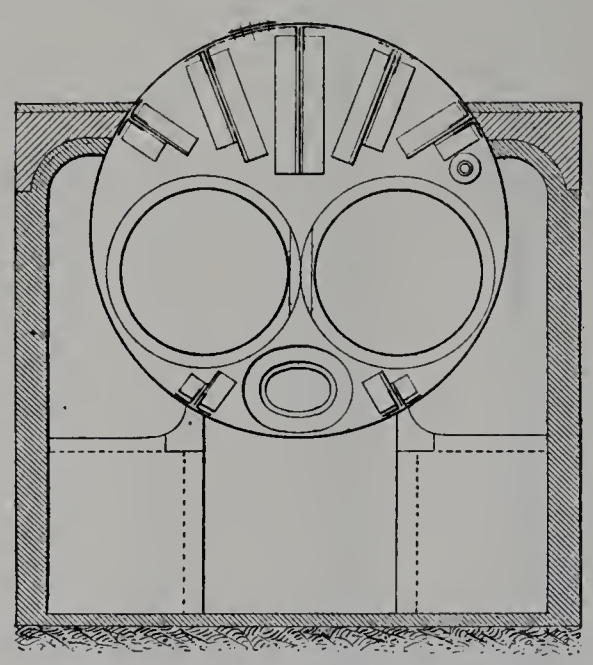


Fig. 39. — Chaudière Galloway.
Coupe transversale par les tubes-foyers.

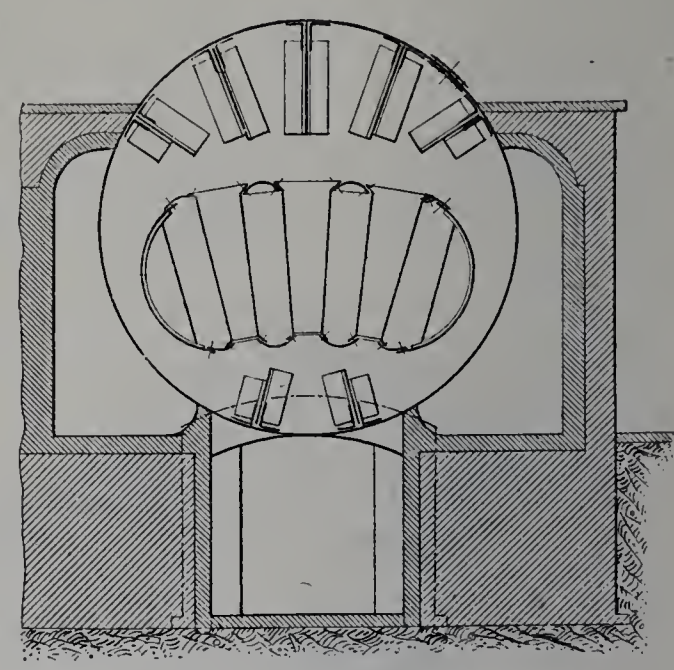


Fig. 40. — Coupe transversale
par le carneau intérieur.

C'est la première fois que MM. Galloway abordent une pression aussi élevée. La forme générale du carneau intérieur à section méplate étant peu favorable aux hautes pressions, ils ont augmenté la raideur propre des parois de cette pièce en emboutissant, suivant des formes coniques, le pourtour des évidements qui reçoivent les bouilleurs transversaux.

Aux deux extrémités de la chaudière, on a conservé, malgré la haute pression, les fonds plats assemblés par cornières et reliés par armatures avec la paroi cylindrique.

Chaudière Piedbœuf. — Les constructeurs du continent, qui exposent des chaudières horizontales à tubes-foyers intérieurs, conservent la section circulaire du tube-foyer dans toute la longueur de l'appareil. Cette forme n'empêche pas d'y placer transversalement des tubes-bouilleurs, suivant le système Galloway. D'autre part, ils terminent le corps de chaudière par des fonds emboutis, bombés suivant une courbure générale favorable à la résistance, et se raccordant par des congés adoucis avec les parois cylindriques de l'enveloppe et des foyers.

C'est ainsi que les très anciens et renommés Établissements Jacques Piedbœuf, de Jupille (Belgique), exposent une chaudière à deux foyers, du genre Lancashire, mesurant $2^{m}40$ de diamètre et calculée pour fournir la vapeur à une machine de 350 chevaux.

Les fig. 41 et 42 représentent un générateur de cette construction; toutefois, dans l'appareil exposé, les tubes-foyers ont leur première virole, celle qui contient la grille, constituée en tôle ondulée; les viroles suivantes, traversées chacune par deux bouilleurs croisés, sont lisses, formées chacune d'une tôle assemblée sur elle-même par rivure longitudinale. Par une disposition inusitée en France, ces viroles ne s'assemblent pas de l'une à la suivante au moyen de collerettes rabattues, formant brides et plaçant la rivure à l'abri du contact des gaz chauds : elles sont simplement reliées par des rivures à recouvrement, et alternativement emboîtantes et emboîtées.

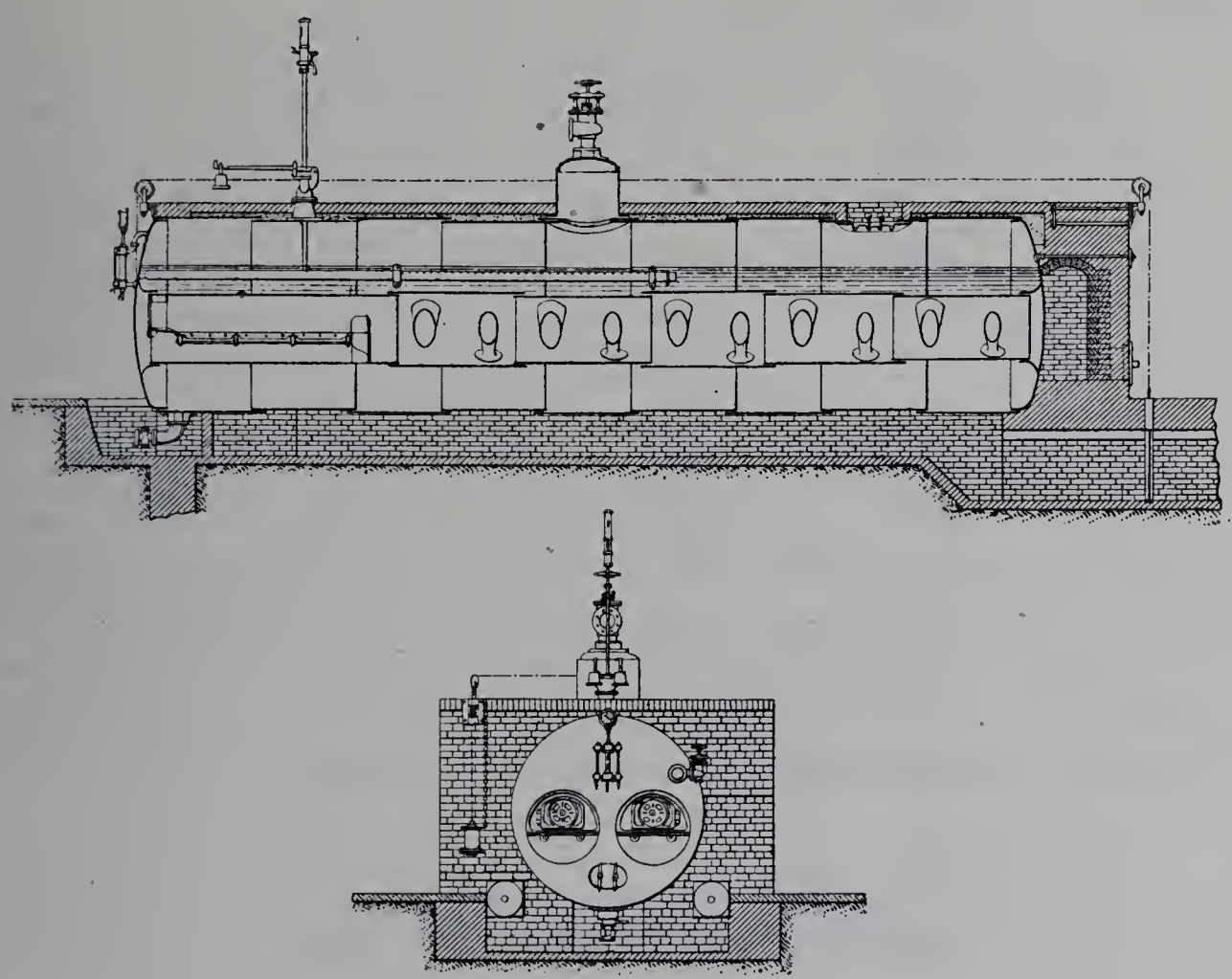


Fig. 41 et 42. — Chaudières à deux foyers intérieurs. (Établissements Jacques Piedbœuf.)

La chaudière est présentée sans ses maçonneries : la perfection du travail de chaudronnerie peut ainsi être appréciée aussi complètement que possible. Le corps cylindrique est construit en tôles de 20 millimètres et les rivures longitudinales, à double couvre-joint, sont étudiées de manière à donner un module de résistance particulièrement élevé. Les fonds emboutis sont formés d'une tôle en acier extra-doux Martin basique, offrant de 36 à 40 kilogrammes par millimètre carré de résistance à la rupture et au minimum 26 p. 100 d'allongement sur 200 millimètres. Les rivures sont exécutées avec un soin suffisant pour n'avoir pas besoin d'être matées, et les exposants déclarent qu'ils cherchent à faire supprimer des cahiers des charges la prescription du matage.

Chaudière cylindrique Fitzner et Gamper. — Fort remarquable comme travail de chaudronnerie est un autre générateur du type Lancashire avec tubes Galloway, exposé par la Société anonyme Fitzner et K. Gamper. Le corps cylindrique mesure $2^{m}30$ de diamètre et $10^{m}60$ de longueur; les rivures longitudinales sont à double couvre-joint, avec la précaution, pour le couvre-joint extérieur, d'en incurver les bords suivant une série de festons régularisant la distance de la ligne de matage aux rivets; les fonds sont emboutis suivant des formes franchement bombées et des congés sans brusquerie. Les tubes-foyers intérieurs, au nombre de deux, traversent le générateur de bout en bout avec une section uniforme; ils sont formés de viroles soudées sur elles-mêmes et assemblées les unes aux autres par collerettes rabattues. La tôle de chaque virole est d'abord cintrée à froid; puis la soudure longitudinale est exécutée, par parties de 20 ou 30 centimètres de longueur, en chauffant les lèvres au moyen de deux chalumeaux à gaz et effectuant, à très haute température, le battage sur une enclume courbe au moyen d'un pilon mécanique. On raidit la virole en y façonnant, par emboutissage, des ondulations formant nervures circulaires; sur les premières viroles de chaque tube-foyer, ces nervures sont assez nombreuses, sans être toutefois aussi rapprochées les unes des autres que dans les foyers ondulés du système Fox; sur les viroles suivantes, qui reçoivent d'autre part des bouilleurs transversaux d'après le système Galloway, il y a seulement une

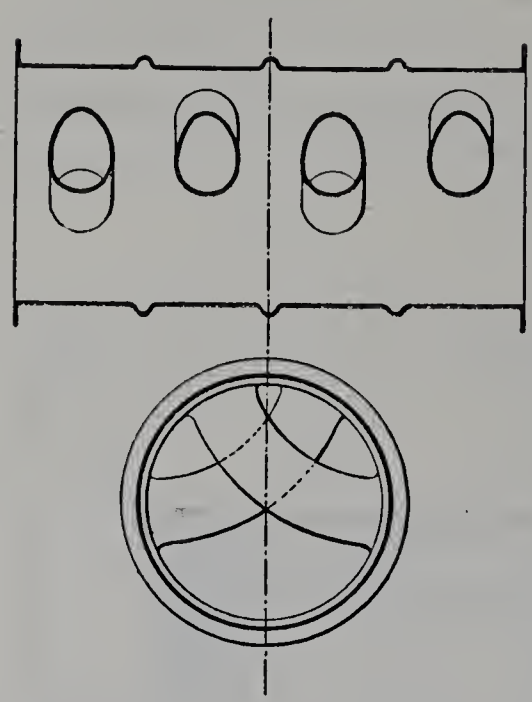


Fig. 43 et 44. — Coupe d'une virole de tube-foyer. (Fitzner et Gamper.)

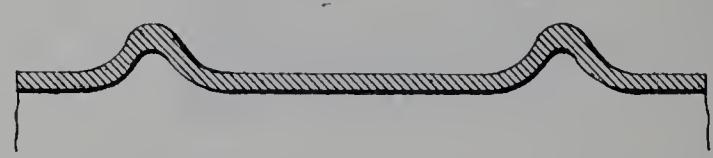


Fig. 45. — Forme des ondulations d'un tube-foyer. (Fitzner et Gamper.)

ondulation dans chaque intervalle entre deux bouilleurs (fig. 43 à 45). L'ondulation correspond en outre à une surépaisseur qui en fait une nervure rigide. Elle est obtenue, après qu'on a chauffé à la température voulue, au moyen d'une couronne de chalumeaux à gaz, la zone circulaire à emboutir, en soumettant l'intérieur de la pièce à une pression d'air comprimé à 6 kilogrammes par centimètre carré, cependant que sur les extrémités de la virole, serrées entre les plateaux d'une presse hydraulique, s'exerce un effort de compression longitudinale tendant à la raccourcir.

Les bouilleurs Galloway sont de forme courbe; non seulement ils sont façonnés aussi par soudure, mais encore c'est par soudure qu'ils sont assemblés à la virole.

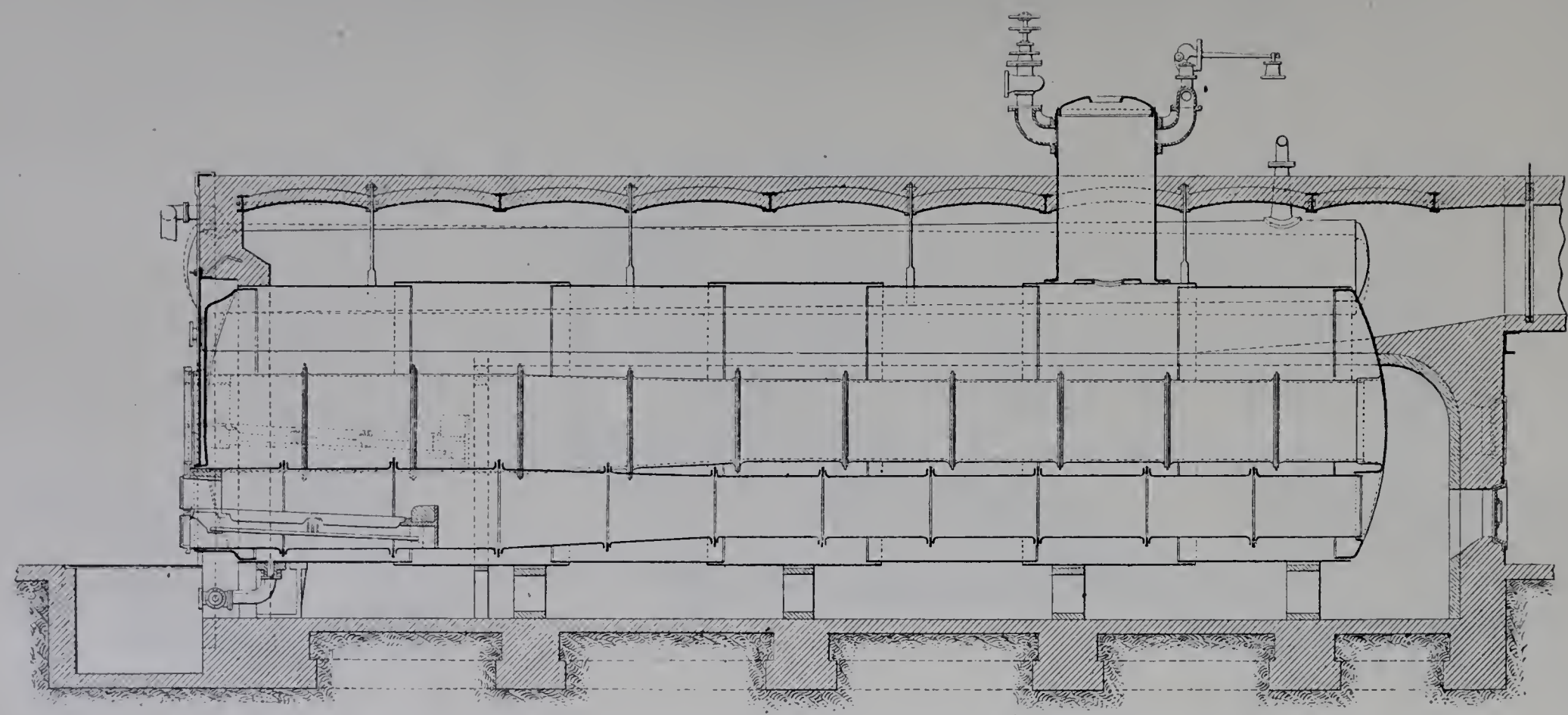


Fig. 46. — Chaudière à trois foyers intérieurs. (M. E. Berninghaus.) Coupe longitudinale

Quant aux collerettes terminales de celle-ci, elles sont formées par emboutissage, puis dressées sur le tour.

Chaudière à trois foyers de M. Berninghaus. — Deux constructeurs allemands présentent, en fonctionnement à l'usine Suffren, des chaudières dont les dispositions générales se rattachent au même système : M. Ewald Berninghaus, de Duisburg, et la Société Paucksch, de Landsberg-sur-la-Warthe.

La chaudière à foyers intérieurs exposée par M. Ewald Berninghaus (fig. 46 et 47) est à trois tubes-foyers, disposition qui porte au maximum la surface totale de grille pour un appareil de ce système.

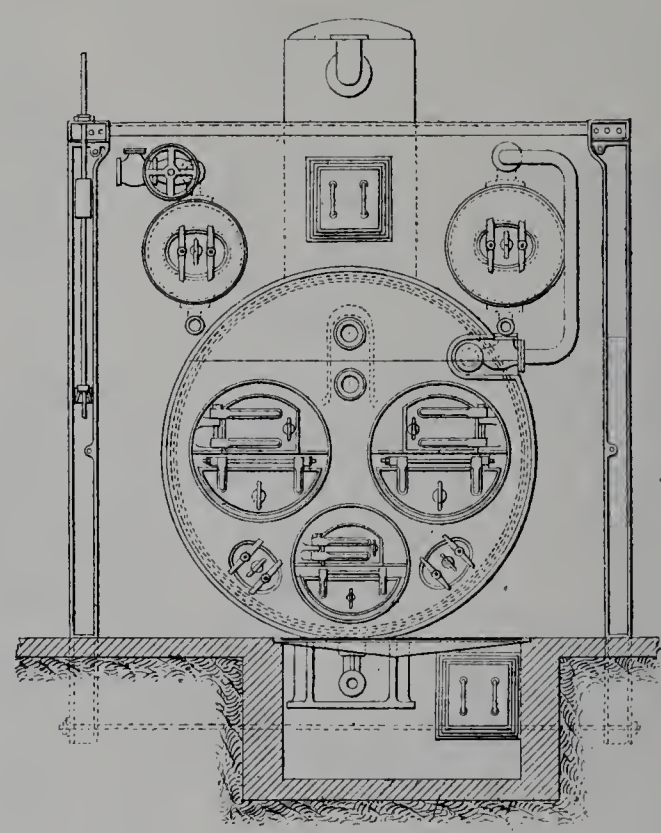


Fig. 47. — Chaudière à trois foyers intérieurs. (M. E. Berninghaus.) Façade.

La surface de grille est égale à $4^{m\text{q}}46$, la surface de chauffe à 125 mètres carrés, ce qui donne $\frac{S}{G} = 28$ seulement. Le timbre est de 12 kilogrammes. Le diamètre du corps cylindrique atteint $2^{m}50$, la longueur 11 mètres; les tôles constituant ce corps ont 26 millimètres d'épaisseur, tant pour les viroles cylindriques, alternativement emboîtantes et emboîtées, que pour les fonds, qui sont emboutis en bonne forme de manière à se raccorder d'une part avec la paroi cylindrique du corps de chaudière, d'autre part avec les tubes-foyers. Deux d'entre ceux-ci sont situés à hauteur de l'axe du corps de chaudière : constitués par une suite de viroles légèrement coniques, assemblées de l'une à la suivante par collerettes extérieures avec anneaux de raidissement interposés, ils mesurent 87 centimètres de diamètre à l'AV (épaisseur de la tôle 16^{mm} 1/2), 70 à l'AR (tôle de 14^{mm} 1/2). Le troisième tube-foyer est situé au-dessous des deux autres, suivant le mode de groupement classique pour les chaudières marines à trois foyers. Il

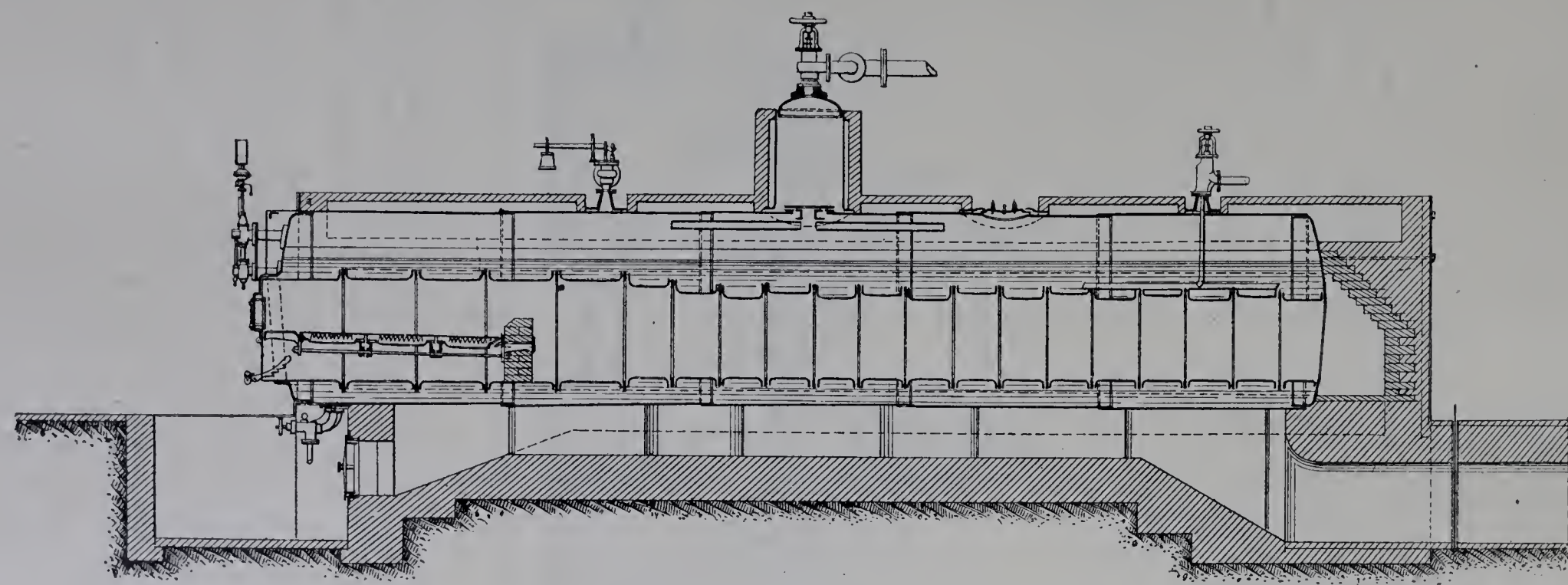


Fig. 48. — Groupe de deux chaudières jumelles. (Paucksch.) Coupe longitudinale de l'une d'elles.

est de plus petit diamètre : 70 centimètres à l'AV, en tôle de 14 millimètres; 56 centimètres à l'AR, en tôle de 12 millimètres. Il résulte de ces dispositions que le chauffeur a devant lui deux niveaux de grilles, situés respectivement à $0^m 53$ et $1^m 28$ au-dessus du parquet de chauffe.

Après avoir parcouru la longueur des tubes-foyers, puis chauffé extérieurement le corps de chaudière dans toute sa partie inférieure, au-dessous du niveau de l'eau, les gaz chauds, suivant une disposition acceptée en Allemagne, sont ramenés en dernier parcours le long de la partie supérieure des parois du corps cylindrique. Dans ce même carneau, l'appareil exposé comprend deux bouilleurs-réchauffeurs latéraux, suspendus par des colliers aux fers à I de la paroi horizontale supérieure du fourneau.

Chaudières jumelles de la Société Paucksch. — La Société Paucksch expose un groupe de deux chaudières juxtaposées (fig. 48 et 49). Chacune d'elles, timbrée à 12 kilo-

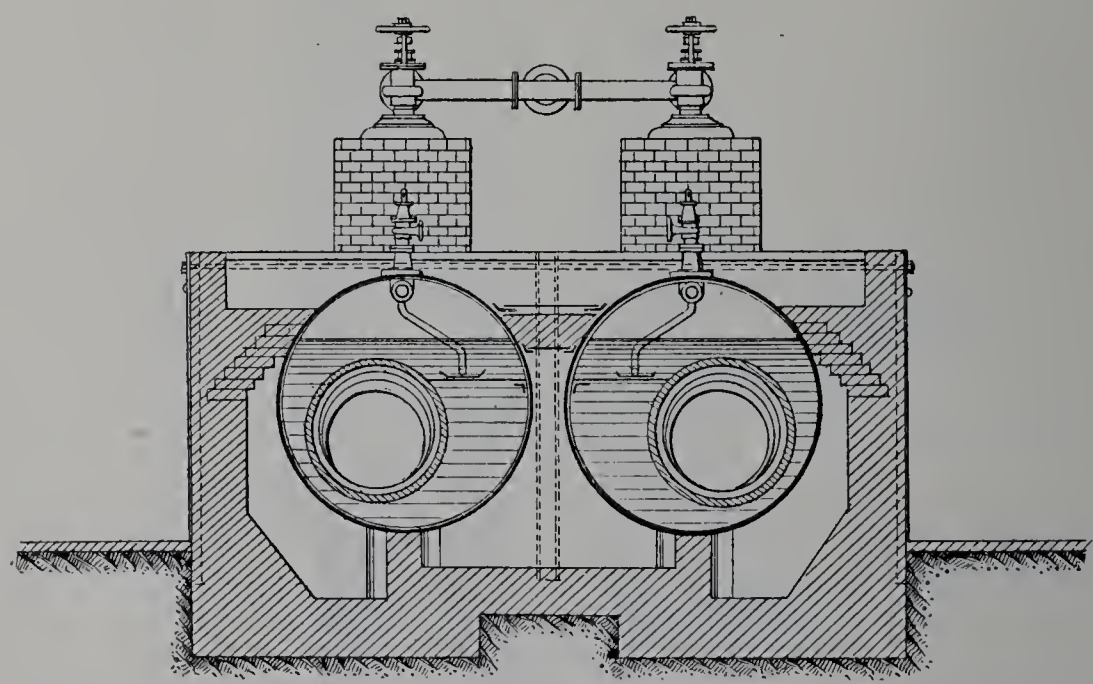


Fig. 49. — Groupe de deux chaudières jumelles. (Paucksch.) Coupe transversale.

grammes, mesure $1^m 70$ de diamètre et $9^m 30$ de longueur. Elle est traversée de bout en bout par un seul tube-foyer, qui ne comprend pas moins de 20 viroles successives; ces viroles sont reliées les unes aux autres par des collerettes rabattues extérieurement, entre lesquelles sont interposées des semelles circulaires, formant fourrure et accentuant le raidissement. Les 5 premières viroles mesurent 90 centimètres de diamètre, c'est la partie contenant la grille et l'autel; puis vient une virole de 80 centimètres; à partir de là, les viroles ont alternativement 75 et 70 centimètres de diamètre. Ce tube-foyer est excentré: son axe se trouve, par rapport à celui du corps de chaudière, non seulement rejeté vers le bas, mais encore déporté vers la droite pour le générateur de droite, vers la gauche pour celui de gauche; l'arrivée de l'eau d'alimentation, l'autoclave de nettoyage situé au bas de l'appareil, les tubulures de communication du générateur avec les tubes de verre indicateurs du niveau de l'eau, sont déportés en sens inverse.

§ 2. Types à faisceau tubulaire.

Système Tischbein. — Souvent, en Allemagne et dans les pays voisins, on combine ensemble, suivant un système connu sous le nom de Tischbein, une chaudière à tubes-foyers intérieurs, de moindre longueur que les précédentes, et une chaudière à tubes de fumée placée au-dessus de la première. Les gaz chauds, en sortant des tubes-foyers de la chaudière inférieure, s'élèvent à l'étage de la chaudière supérieure, dont ils traversent le faisceau tubulaire, puis chauffent extérieurement les flancs; ils sont ensuite ramenés à l'étage du bas où, comme dernier parcours, on leur fait chauffer extérieurement la chaudière inférieure sur tout son pourtour, la température des gaz étant alors suffisamment abaissée.

On peut considérer, sous un certain rapport, que ce système dérive du type Lancashire par une transformation analogue à celle qui, en France, a fait passer de la chaudière à bouilleurs non tubulaire à la semi-tubulaire.

Chaque corps de chaudière a son niveau d'eau distinct, qui doit être maintenu à hauteur convenable par rapport aux foyers intérieurs dans la chaudière du bas, par rapport au faisceau tubulaire et aux carneaux latéraux dans celle du haut. Deux tuyaux verticaux mettent en communication les corps cylindriques : l'un, partant du sommet du corps inférieur, s'élève jusque dans la chambre à vapeur du corps supérieur, où il verse à l'état de vapeur sèche la vapeur formée dans le premier de ces deux corps; l'autre, partant du corps supérieur à hauteur du niveau du liquide, plonge jusqu'un peu au-dessous du niveau du liquide dans le corps inférieur. L'eau d'alimentation est amenée dans la chaudière du haut; le liquide fourni en excès par rapport à la quantité qui suffit à entretenir le niveau constant dans cette chaudière, tombe en déversoir, par le tuyau formant trop-plein, dans le générateur inférieur : si les appareils indicateurs du niveau de l'eau de ce dernier montrent qu'il s'alimente convenablement, c'est donc que le corps supérieur demeure plein d'eau jusqu'au niveau fixé par le trop-plein. Néanmoins, à titre de garantie, la chaudière du haut possède, comme celle du bas, des appareils indicateurs du niveau de l'eau qui lui sont propres. Dans le même ordre d'idées, certains constructeurs, pour parer à toute éventualité, ajoutent au générateur inférieur une alimentation directe de secours.

En superposant ainsi deux corps de chaudière, dont l'un tubulaire, on obtient des appareils n'occupant qu'une superficie restreinte et présentant une surface de chauffe étendue par rapport à la surface de grille et à la surface rayonnante du fourneau. Les deux corps de chaudière superposés appartiennent l'un et l'autre à des types connus, éprouvés par la pratique. On allie, comme dans les chaudières marines à retour de flamme, le tube-foyer intérieur et le tube à fumée, sans avoir à aborder, malgré l'étendue de la surface de chauffe, la construction de corps cylindriques d'un très grand diamètre. En revanche, l'appareil est d'une grande hauteur; on s'assujettit à la complication d'avoir à surveiller deux niveaux d'eau différents; pour rendre accessibles les tubes

indicateurs de la chaudière du haut, il faut établir une passerelle longeant le fourneau à mi-hauteur de la façade.

Chaudières à deux corps, de M. Berninghaus. — M. Ewald Berninghaus expose dans l'usine Suffren quatre chaudières de ce système qui participent à la fourniture de

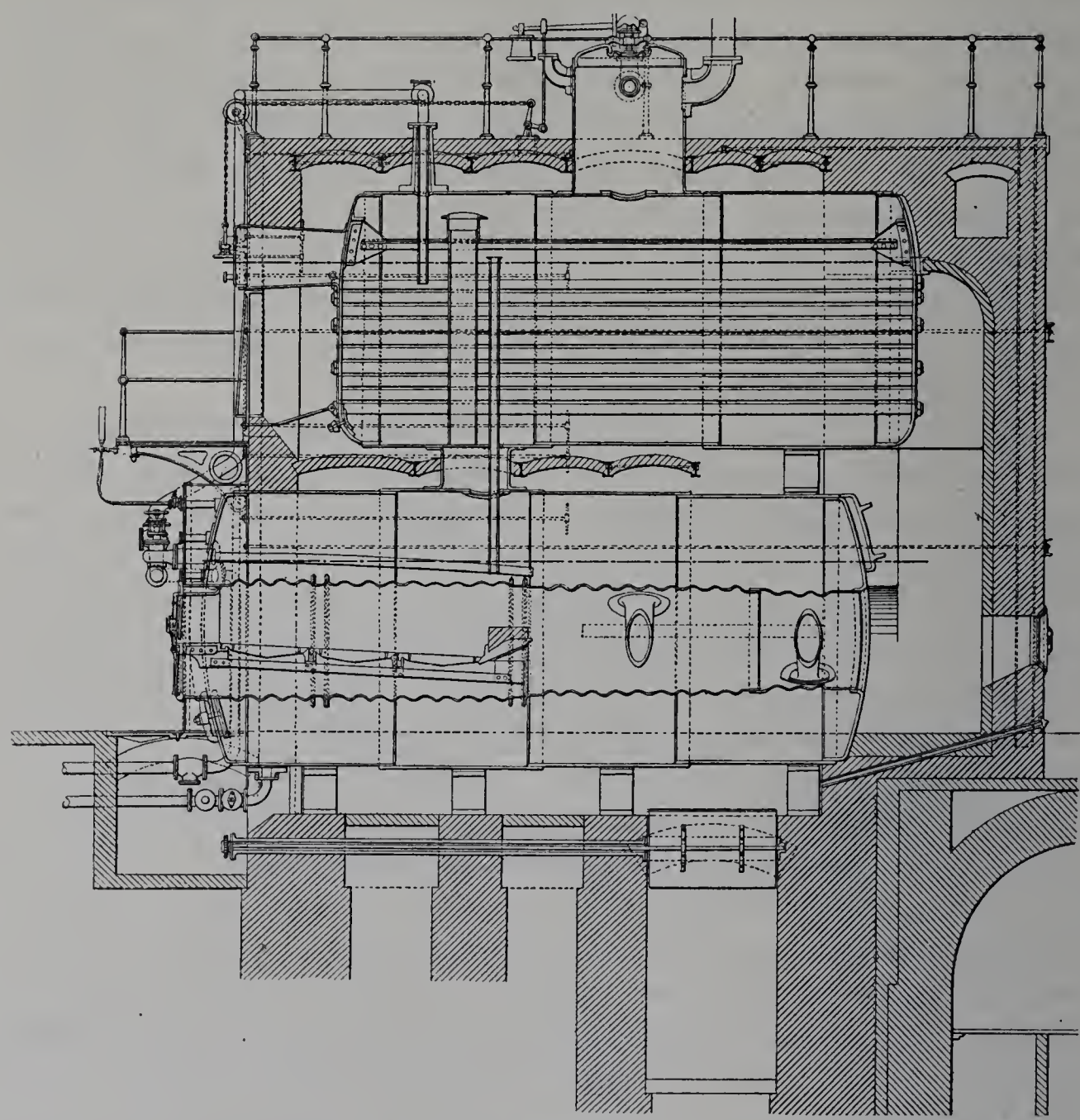


Fig. 50. — Chaudière à deux corps, système Tischbein. (M. E. Berninghaus.) Coupe longitudinale.

vapeur. Les figures 50 à 52 représentent l'une d'elles. Timbrées à 12 kilogrammes, elles mesurent chacune 260 mètres carrés de surface de chauffe, $4^{mq}80$ de surface de grille $\left(\frac{G}{S} = 54\right)$; on voit combien la surface de chauffe est développée, pour un appareil dont le fourneau n'occupe que $7^{m}33$ de longueur sur 4 mètres de largeur environ, et qui ne comporte pas d'éléments cylindriques de plus de $2^{m}50$ de diamètre. La chaudière inférieure a pour diamètre $2^{m}50$ et pour longueur $6^{m}15$; ses tôles cylindriques ont $24^{mm}1/2$ d'épaisseur, et les fonds, emboutis suivant une forme franchement

bombée, sont en tôle de 26 millimètres. Les foyers intérieurs, en tôle ondulée, sont d'un diamètre décroissant depuis l'avant, 1m 10, jusqu'à l'arrière, 0m 80, et formés d'une suite de viroles dont la tôle est d'épaisseur proportionnée, 13 millimètres à l'avant, 11 millimètres à l'arrière. Les viroles antérieures sont reliées l'une à l'autre par des collerettes extérieures formant anneaux de renforcement; les viroles de l'arrière sont raidies par des bouilleurs Galloway. La chaudière supérieure, de 2m 30 de diamètre et 5m 30 de longueur, est construite en tôle de 22 millimètres pour la partie cylindrique, de 25 millimètres

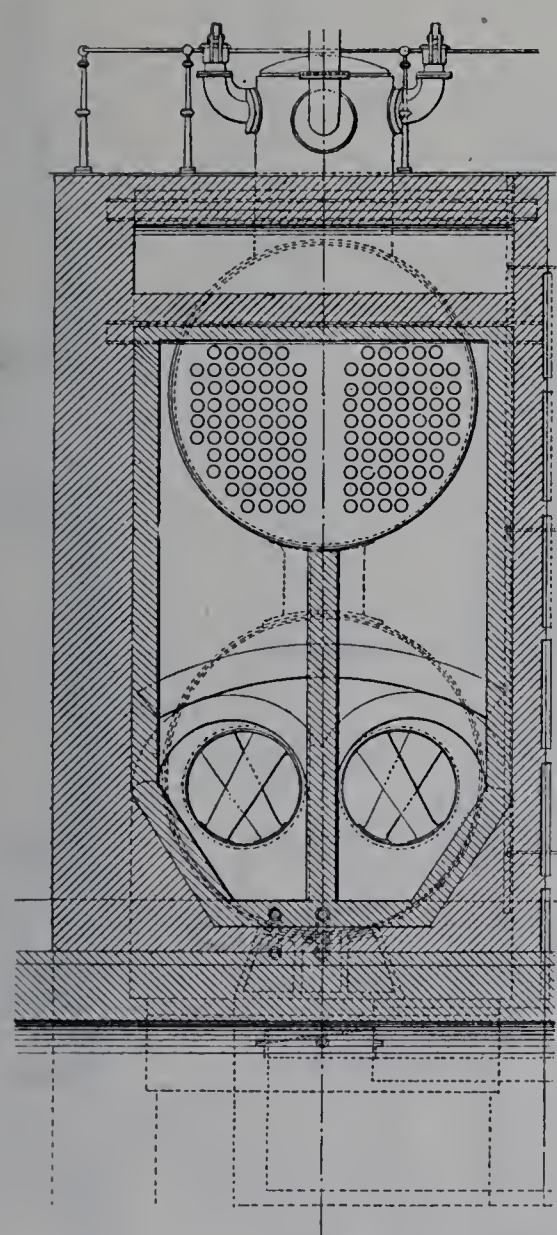


Fig. 51. — Coupe transversale.

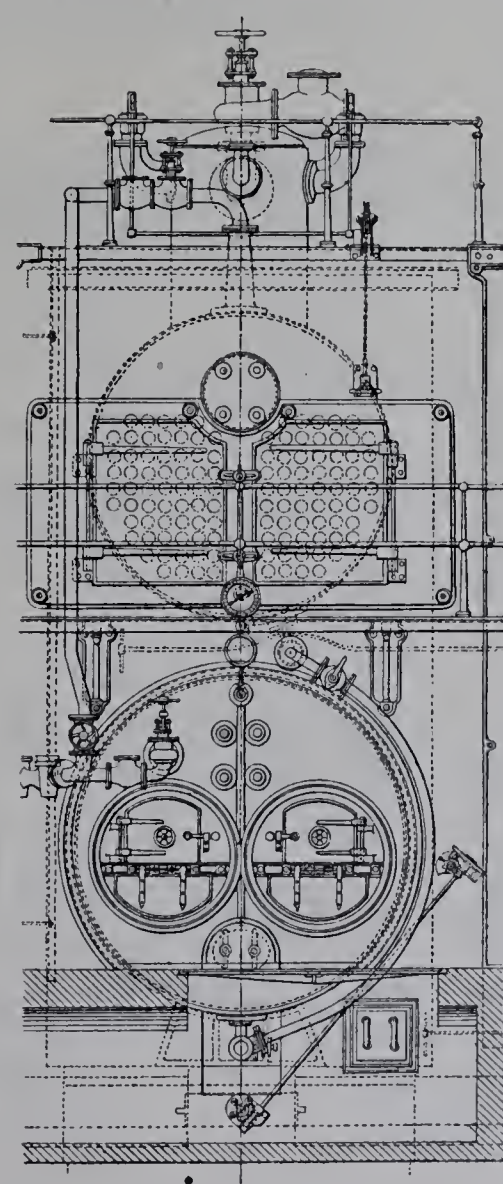


Fig. 52. — Élévation.

pour les fonds; ceux-ci, dont le pourtour est bombé suivant des formes adoucies, forment plaque tubulaire dans la partie médiane et reçoivent 140 tubes à fumée de 95 millimètres de diamètre extérieur, dont 122 tubes ordinaires de 3mm 1/4 d'épaisseur et 18 tubes-tirants dont l'épaisseur a été portée à 7mm 1/2. La chaudière du haut repose sur celle du bas, à l'arrière, par l'intermédiaire d'un support métallique dont la disposition n'a rien de spécial; à l'avant, par un cuissard rivé, disposé comme s'il avait pour objet d'établir une communication entre les deux corps, mais à l'intérieur duquel la tôle du corps

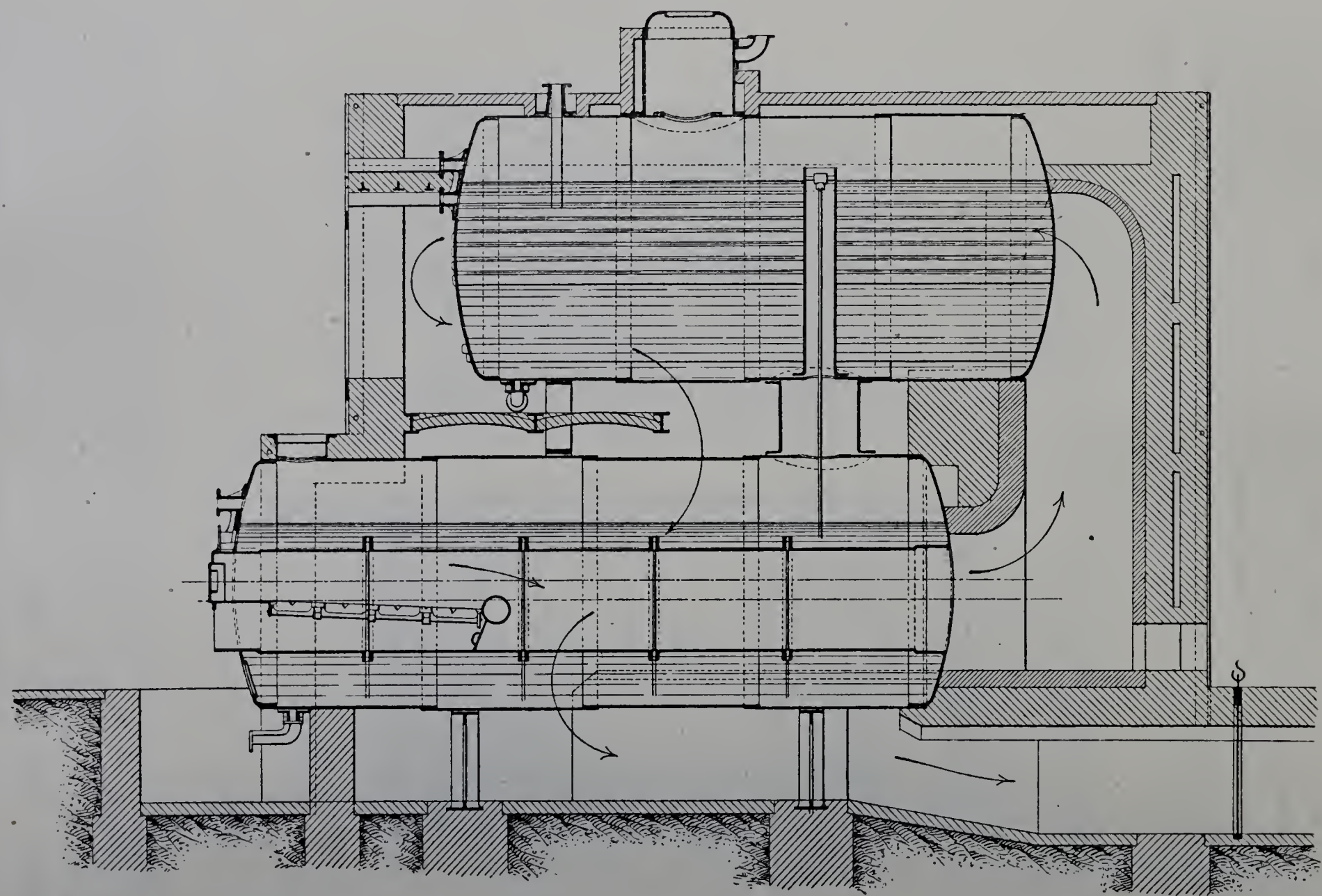


Fig. 53. — Chaudière à deux corps, système Tischbein. (MM. Petzold et Cie.) Coupe longitudinale.

supérieur n'est pas découpée en grand. Elle est percée seulement de deux orifices circulaires, dont l'un sert de départ au tuyau abducteur de vapeur, de 25 centimètres de diamètre, qui s'élève directement jusque dans la chambre à vapeur de la chaudière supérieure, et dont l'autre ne fait que livrer passage au tuyau de 10 centimètres amenant de haut en bas l'eau d'alimentation. Il résulte de là qu'au lieu d'être un cuissard de communication, cette partie joue en réalité le rôle d'un dôme de prise de vapeur pour le corps de chaudière inférieur.

Un dôme de prise de vapeur, disposé à la manière ordinaire, surmonte le corps supérieur. Les tubes indicateurs du niveau de l'eau sont, pour le corps du bas, directement greffés sur le fond embouti de l'avant et, pour celui du haut, greffés sur une large tubulure formant allonge vers l'avant, de manière à reporter hors du fourneau le niveau libre du liquide sans aucune intervention de tuyauterie.

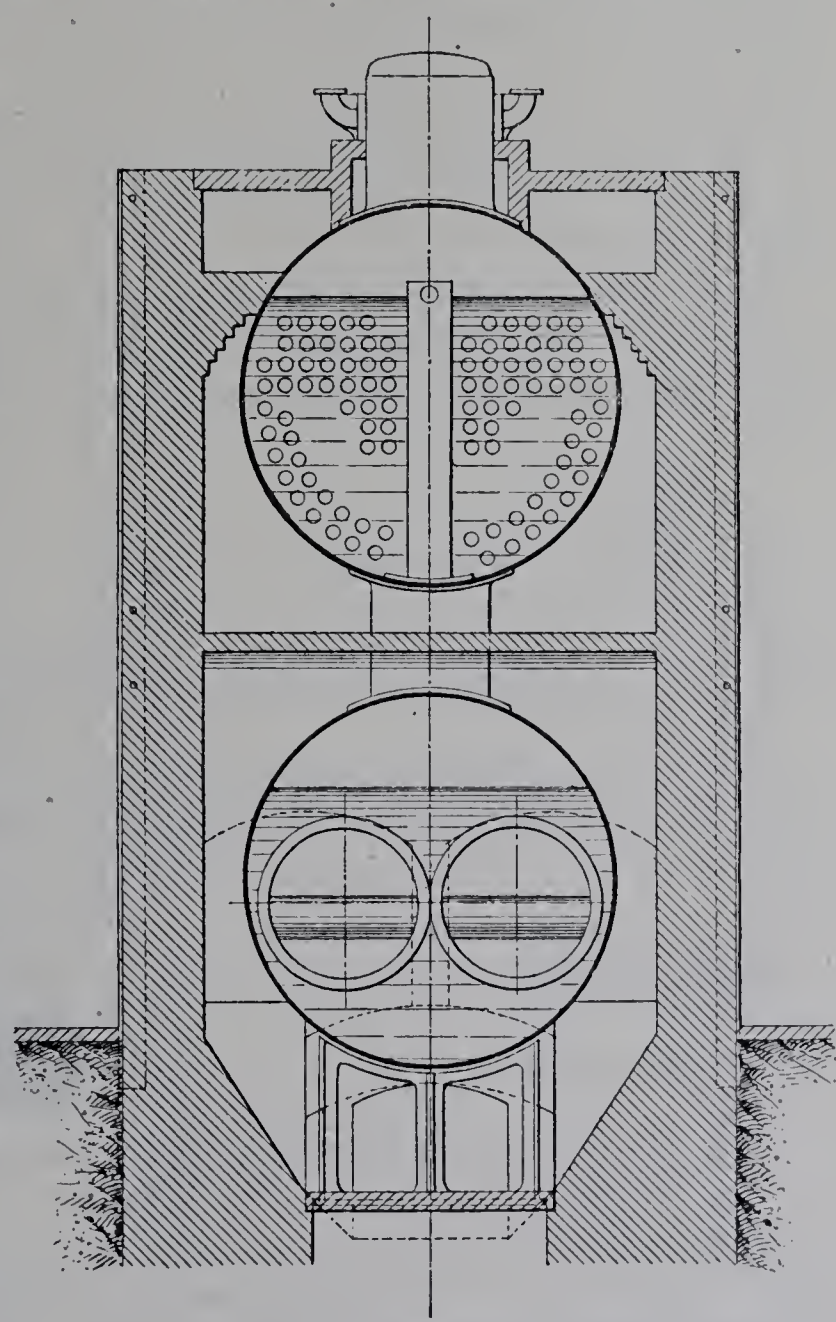


Fig. 54. — Chaudière à deux corps, système Tischbein. (MM. Petzold et Cie.) Coupe transversale.

Chaudière à deux corps, de MM. Petzold et Cie. — La chaudière de 250 mètres carrés de surface de chauffe présentée par MM. Petzold et Cie offre des dispositions générales analogues (fig. 53 et 54). Le corps inférieur mesure 2m 30 de diamètre et 6m 10 de longueur non compris la saillie du fond; les tubes-foyers sont lisses, de 920 millimètres de diamètre à l'avant, 825 à l'arrière. Dans chacun de ces foyers, l'autel est constitué par un bouilleur transversal, ce qui introduit une question relative au nettoyage intérieur de cette pièce. Le tuyau abducteur de vapeur et le tuyau adducteur d'eau d'alimentation sont concentriques; le second de ces tuyaux se termine à sa partie supérieure par un T horizontal traversant le premier.

Chaudières tubulaires à flamme directe; chaudières à retour de flamme du système Thomas-Laurens. — Les chaudières horizontales à foyer intérieur et tubes de

fumée, ayant foyer et faisceau tubulaire logés dans un même corps, forment certes une famille importante d'appareils, puisque c'est à cette définition que répondent toutes les chaudières de locomotives, ainsi que les chaudières à retour de flamme employées à bord des bateaux.

Mais les engins particuliers aux chemins de fer et à la navigation ne ressortissent pas la Classe 19.

Toutefois, de ces applications spéciales où il sont si largement répandus, ces types ont passé dans le domaine des applications diverses, notamment pour les appareils mobiles ou mi-fixes.

Ceux-ci feront l'objet spécial du chapitre VII. Nous aurons à envisager les chaudières dont il s'agit comme faisant partie des ensembles qui seront décrits dans ce chapitre. Pour l'instant, bornons-nous à quelques observations d'ordre général.

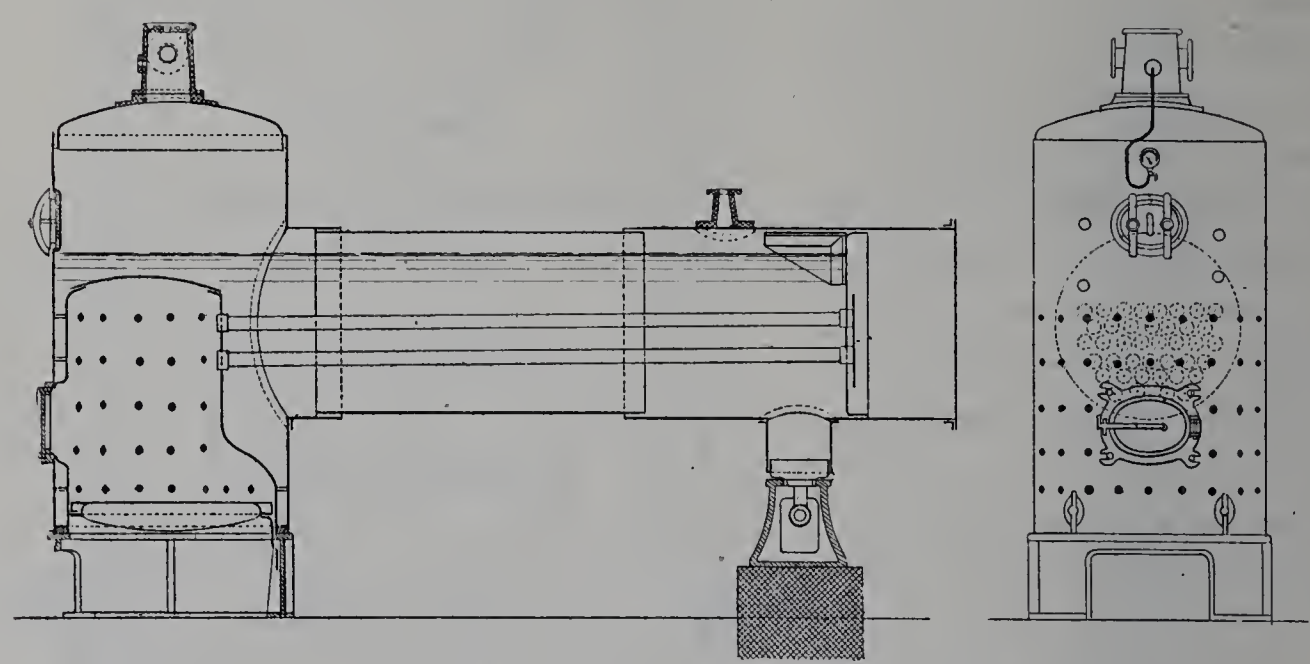


Fig. 55 et 56. — Chaudière horizontale, tubulaire, à flamme directe, de MM. Meunier et Cie.

La disposition de la chaudière de locomotive se retrouve dans un grand nombre de locomobiles, soit avec le foyer rectangulaire, soit avec un foyer cylindrique vertical sur lequel le faisceau tubulaire horizontal est greffé latéralement; dans ce second cas, l'enveloppe est elle même composée de deux parties cylindriques, l'une verticale, l'autre horizontale : c'est la chaudière en ⊢.

Les figures 55 et 56 indiquent les formes générales d'un appareil de ce genre construit par MM. Meunier et Cie.

Le système qui a porté en France le nom de Farcot, et dans lequel un foyer intérieur cylindrique horizontal est directement suivi d'un faisceau tubulaire placé en prolongement, passe en France pour se concilier difficilement avec la liberté des dilatations; mais il se trouve représenté, dans d'importantes expositions de la section allemande, par un type à système vaporisateur amovible, où l'emploi de garnitures spéciales pour les grands joints assemblant le vaporisateur à la calandre assure aux dilatations un jeu suffisant. C'est ainsi que M. H. Lanz, de Mannheim, et M. R. Wolf, de

Magdebourg-Buckau, fabriquent nombre de machines locomobiles et mi-fixes établies sur ce principe; ils en construisent sur toute l'échelle des puissances, ayant poussé la série de leurs modèles jusqu'à des unités de plusieurs centaines de chevaux.

En France, les chaudières tubulaires à foyer intérieur cylindrique, dans lesquelles le tube-foyer et les tubes à fumée forment un vaporisateur amovible, appartiennent généralement au système à retour de flamme. C'est le type Thomas Laurens, où les dilatations du vaporisateur sont tout à fait indépendantes de la calandre, ces deux parties de l'appareil n'étant réunies que par un seul grand joint circulaire situé sur la façade.

Depuis longtemps, MM. Weyher et Richemond, de Pantin (Seine), se sont fait une spécialité de la construction de ce type, dont la facilité de visite intérieure ne laisse rien à désirer.

Dans les générateurs de cette classe, le faisceau tubulaire peut être disposé de deux manières par rapport au tube-foyer.

Lorsqu'il s'agit d'appareils fixes à grand volume d'eau, l'ensemble du générateur se compose de deux corps horizontaux superposés, reliés l'un à l'autre par des cuissards. Le niveau de l'eau est établi à mi-hauteur du corps supérieur; dans le corps inférieur, le tube-foyer est disposé suivant l'axe de symétrie et les tubes à fumée l'entourent concentriquement.

Les appareils mi-fixes et les locomobiles ne possèdent qu'un seul corps de chaudière; le tube-foyer et le faisceau tubulaire sont placés l'un au-dessus de l'autre et le niveau de l'eau est établi à la hauteur réglementaire, au-dessus du ciel de la boîte à feu, comme dans les chaudières marines.

Nous reviendrons au chapitre VII sur la description des chaudières mobiles que nous ne faisons actuellement qu'esquisser.

IV

CHAUDIÈRES À TUBES D'EAU.

Développement de l'emploi des chaudières à tubes d'eau. — Dans l'ensemble des deux usines La Bourdonnais et Suffren, sur 66 générateurs présentés au titre français, 62 sont à tubes d'eau : c'est une proportion de 94 p. 100; parmi les générateurs installés par les exposants étrangers, on compte 12 appareils à tubes d'eau sur 26, soit près de la moitié du total.

Mais il faudrait se garder de juger d'après ces chiffres de l'état général des habitudes de l'industrie.

Le programme imposé aux fournisseurs de vapeur exigeait que la vapeur fût produite à la pression effective de 11 kilogrammes par centimètre carré; bien qu'une telle pression n'ait plus rien aujourd'hui d'exceptionnel, c'est cependant encore une pression avec laquelle les constructeurs des générateurs à petits éléments sont plus familiarisés

que la plupart des autres. D'ailleurs, le caractère temporaire des installations n'appelait pas les systèmes comportant les plus grands frais de transport et exigeant les maçonneries les plus étendues. Enfin le milieu rendait particulièrement opportun le genre spécial de sécurité qui distingue les chaudières à petits éléments.

Si l'on veut se rendre compte du développement réel que cette classe d'appareils a pris jusqu'à ce jour dans la généralité des usines, ce sont les statistiques qu'il faut interroger. En France, sur les 89,500 chaudières à vapeur qui constituent (abstraction faite des appareils des chemins de fer, des tramways et des bateaux) l'effectif total afférent à l'année 1900, on compte 13,400 appareils à tubes d'eau, savoir :

Chaudières	à tubes d'eau sans tubes de fumée	ayant leur surface de chauffe entièrement tubulaire		3,800
		ayant une partie de leur surface de chauffe non tubulaire	à foyer extérieur	1,800
			à foyer intérieur	7,600
	comportant à la fois des tubes de fumée et des tubes d'eau			200
			Total	13,400

C'est une proportion globale de 15 p. 100 si l'on fait acception de la classe nombreuse des chaudières à foyer intérieur munies de tubes vaporisateurs, telles que les chaudières Field.

Mais si l'on se borne à considérer les générateurs composés exclusivement de petits éléments et ceux qui, tout en possédant des corps cylindriques plus ou moins volumineux, ont leur faisceau vaporisateur disposé comme celui des générateurs à petits éléments, c'est-à-dire en définitive les appareils à foyer extérieur, c'est seulement un effectif de 5,800 chaudières qui est à comparer au total général de 89,500 : la proportion ne dépasse pas 6 1/2 p. 100.

Nous ne disposons pas de statistiques analogues pour tous les pays étrangers, mais voici un exemple : dans le royaume de Prusse, pour la même année 1900, le nombre des chaudières s'élève à 88,900, dont 11,400 à tubes d'eau ainsi classées :

Chaudières	cylindriques avec tubes d'eau	1,150
	à foyer intérieur avec tubes bouilleurs	4,740
	à tubes bouilleurs	5,370
	à tubes bouilleurs et à tubes de fumée	140
	Total	11,400

Le rapport à l'effectif total est de 13 p. 100 pour les chaudières à tubes d'eau de toute nature, de 7 1/2 p. 100 pour celles à foyer extérieur.

Toutefois, d'année en année, la proportion va s'élevant et nous trouverions des chiffres fort supérieurs à ceux qui précèdent si, au lieu de compter les générateurs à tubes d'eau et à foyer extérieur qui existent à un moment donné parmi l'effectif total, résultat d'un passé plus ou moins long, nous considérions la proportion suivant laquelle ils entrent dans l'accroissement annuel de cet effectif. Pour la France, il ressort de la comparaison des statistiques successives, que cette dernière proportion a été de 23 p. 100 en moyenne pendant les deux années qui ont suivi 1900.

Lors de l'Exposition de 1889, la diffusion de l'emploi des générateurs à tubes d'eau, surtout de ceux composés exclusivement de petits éléments, était liée d'une manière étroite aux applications de l'électricité; c'était l'époque où les méthodes de transmission de l'énergie électrique à grande distance n'étaient pas encore assez perfectionnées pour qu'on pût placer les usines génératrices en dehors des agglomérations à desservir; dans une installation au cœur d'une ville, on s'attachait par dessus tout à éviter la possibilité d'accidents susceptibles de porter leurs effets hors des limites de la chaufferie, en même temps qu'à réduire au plus strict minimum, comme à bord d'un navire, l'encombrement des appareils. Aujourd'hui, la science des électriciens est plus avancée; les grandes stations génératrices s'installent souvent sur des emplacements où l'espace ne manque pas; la question de sécurité peut être envisagée sous son aspect général, au lieu d'être dominée par la préoccupation presque exclusive d'une certaine catégorie d'accidents. Mais, par ailleurs, le champ d'application des générateurs à tubes d'eau s'est agrandi; la production de vapeur à haute pression tend à devenir une raison de plus en plus fréquente de leur emploi; l'industrie s'est familiarisée avec ce genre d'appareils et d'utiles progrès, intéressant à la fois la sécurité, la régularité du service et le rendement thermique, ont été faits dans l'art de les construire et d'en tirer parti.

La circulation dans ces chaudières. — Des expériences instructives et d'intéressantes discussions ont jeté de réelles lumières sur une question longtemps controversée, celle de la *circulation* dans les générateurs de cette classe. A l'intérieur de toute chaudière, la formation des bulles de vapeur au contact de la surface de chauffe et leur élévation jusqu'au niveau où elles se séparent du liquide amènent des remous dans celui-ci; mais, en outre, il peut en résulter, à raison de la disposition d'ensemble de l'appareil, un mouvement circulatoire plus ou moins accentué auquel liquide et bulles participent. Du sens et de la rapidité de ce mouvement, lorsqu'il a lieu, dépendent plusieurs résultats intéressants. Il est bon que les bulles soient, aussi vivement que possible, séparées du métal au fur et à mesure de leur formation et entraînées vers le réservoir de vapeur. D'une manière générale, la surface de chauffe est ainsi mieux rafraîchie et plus efficace; dans le cas où les éléments vaporisateurs sont constitués par des tubes étroits, la promptitude d'élimination des bulles permet de donner à la vaporisation une activité qui, autrement, ne saurait être atteinte sans risque d'accumulation de vapeur dans les tubes et par conséquent de surchauffe. Il n'est pas moins important que les dépôts en suspension dans le liquide soient emportés hors des tubes

IMPRIMERIE NATIONALE

par un mouvement général de l'eau et ne trouvent à se sédimenter que dans les parties du système où leur accumulation est inoffensive.

La circulation dans un générateur à tubes d'eau est un phénomène complexe. Les démonstrations expérimentales de MM. Babcock, Krauss, Thornycroft, Yarrow, Watkinson, etc., en ont beaucoup facilité la compréhension; cependant on ne saurait faire d'assimilation complète entre les dispositifs de laboratoire et les générateurs industriels. Quelques-uns des faits constatés ont surpris au premier abord et la nécessité de les expliquer a stimulé les progrès de la théorie : citons, dans cet ordre d'idées, la permanence du sens de la circulation dans un circuit dont M. Yarrow, une fois le mouvement amorcé, ne chauffait que la branche descendante; citons aussi les curieuses expériences imaginées par M. Solignac et que cet ingénieur, exposant d'un générateur dont il sera question plus loin, reproduit à l'Exposition. La figure 57 montre l'une de ces expériences. Lorsque le tube de fer horizontal, inséré dans la tubulure latérale du vase à eau, est laissé en large communication avec celui-ci et qu'on le chauffe, un dégagement de vapeur se produit du côté du vase, tandis que de l'autre côté une colonne d'eau oscille dans la partie coudée du tube de verre, et au bout de quelques instants le tube métallique se trouve porté au rouge. Vient-on alors à interposer, à l'origine de la tubulure, un diaphragme percé d'un trou (ce diaphragme est représenté sur le dessin), tout en continuant le chauffage, les phénomènes s'orientent tout différemment : le tube de verre se purge d'abord en émettant un paquet d'eau par son extrémité libre, puis un mouvement régulier s'établit, ce tube de verre donnant continuellement issue à la vapeur formée, en même temps qu'à une certaine proportion d'eau entraînée qui retombe dans le vase, ainsi que les flèches l'indiquent. Dès le début de ce nouveau régime, on voit le tube de fer, qui était rouge, noircir progressivement à partir de l'extrémité en communication avec le vase.

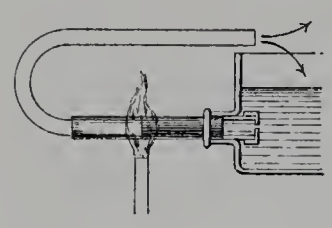


Fig. 57. — Expérience de M. Solignac.

Les faits s'expliquent aisément si, en même temps que des changements de volume et des pressions, l'on tient compte des forces vives et si l'on distingue l'établissement d'un régime de sa continuation[1].

Correctement interprétées, ces expériences sont de nature à fournir des indications fort utiles; il ne faut pas, toutefois, perdre de vue qu'elles ne montrent qu'un côté des choses et que, dans les problèmes de la pratique, le talent essentiel de l'ingénieur est de voir chaque question sous tous ses aspects.

Mesures spéciales de sécurité. — Exemptes par nature, à un degré variable suivant le type, du risque d'accidents à grands effets dynamiques, les chaudières à petits éléments ont eu, il faut le dire, des débuts malheureux sous le rapport de la sécurité,

[1] Voir sur ces questions le rapport présenté par M. Brillié au Congrès de mécanique appliquée, sous le titre : *Les chaudières à petits éléments, classification, rendement, fonctionnement.* — Comptes rendus du Congrès, t. I, p. 387 et suivantes.

à cause de la répétition des accidents de détail[1]. Ce sont, en première ligne, les désassemblages, en seconde ligne, les ouvertures de tubes vaporisateurs, qui ont fait les plus fréquentes victimes, presque toujours par l'effet des fluides brûlants lancés dans la chaufferie. Les perfectionnements de la construction, une meilleure entente des dispositions d'ensemble et des assemblages, ainsi que de tout ce qui intéresse l'alimentation et le nettoyage intérieur, étaient à cette situation des remèdes essentiels et indispensables : il y a actuellement beaucoup de mieux sous ces divers rapports. On a commencé, d'autre part, à joindre à ces améliorations des précautions d'un autre ordre : nous voulons parler de celles qui tendent, non à prévenir les avaries, mais à les rendre, si malgré tout elles se produisent, inoffensives pour les personnes. Un échappement de vapeur, une projection d'eau, une bouffée de gaz, ce sont là des phénomènes qu'il n'est pas impossible de maîtriser ou de canaliser, de manière à protéger les ouvriers contre leurs effets.

Tout d'abord, les conséquences possibles de la rupture d'un tube vaporisateur peuvent être singulièrement réduites par l'emploi de tubes de petit diamètre. Lorsqu'on arrive aux tubes très étroits comme ceux des chaudières Du Temple, l'éventualité d'une crevaison de tube reste une gêne, mais il faut des circonstances exceptionnelles pour que ce soit un danger. Dans les chaudières à petits éléments des types industriels ordinaires, le diamètre des tubes varie le plus souvent de 80 à 100 millimètres. Il n'est pas souhaitable pour la sécurité qu'il dépasse cette dernière cote.

Mais déjà un diamètre de cet ordre de grandeur suffit pour que la rupture ou le déboîtement d'un tube soit fort dangereux, si les fluides brûlants mis en mouvement prennent issue vers les chauffeurs. Il faut donc barrer le chemin, dans cette direction, à la bouffée de gaz ou de vapeur. Les portes de boîtes à tubes doivent être solidement assujetties sur la façade et tenues fermées par un dispositif d'une résistance assurée et d'un contrôle facile; c'est surtout important pour les types de générateurs à boîtes de raccord ou à collecteurs verticaux séparés, qui laissent entre eux des intervalles. Une bonne mesure est de donner aux portes de foyer, en les articulant sur un axe horizontal et en les faisant ouvrir vers l'intérieur, la disposition autoclave, afin qu'une pression intérieure au fourneau soit impuissante à les ouvrir si elles sont fermées; il est désirable qu'elles soient, en outre, automatiques, c'est-à-dire disposées de manière à être toujours libres de se refermer et à se refermer effectivement d'elles-mêmes, si un retour de flamme tend à se produire alors qu'elles sont ouvertes. Toutes les portes de foyer des générateurs à tubes d'eau, exposés par des constructeurs français, sont disposées suivant ces principes, applicables aussi aux portes de cendrier.

D'autre part, il ne suffit pas de fermer au flux brûlant toute issue vers le chauffeur : il est nécessaire de lui offrir en même temps un dégagement facile dans une direction inoffensive. Des mesures spéciales, appropriées aux dispositions du fourneau et de la chaufferie, sont à prendre à cet effet : une solution qui peut souvent être employée

[1] Voir *Congrès international de Mécanique appliquée*, t. III, p. 42 et suiv.

consiste à munir le fourneau, à sa partie supérieure, d'une trappe d'expansion convenablement disposée.

Enfin les dispositions des chaufferies jouent un grand rôle. C'est là un côté de la question fréquemment négligé ou mal compris; il convient de réagir contre la vieille et déplorable habitude de reléguer les chaudières à vapeur dans des locaux étroits, pauvrement aérés, n'offrant pas un système convenable d'issues. Les conséquences d'un accident peuvent, dans bien des cas, différer du tout au tout suivant les dispositions du local. Si le chauffeur, à l'instant où se fait jour une bouffée brûlante, peut, en quelque point qu'il se trouve, sortir immédiatement de l'atmosphère irrespirable sans avoir à traverser le jet, il a toute chance de s'en tirer.

Classification. — Les chaudières à tubes d'eau se partagent en deux classes nettement distinctes, suivant que leur faisceau vaporisateur est formé de *gros tubes*, c'est-à-dire de tubes ayant un diamètre voisin de 10 centimètres, ou de *petits tubes* dont le diamètre n'excède généralement pas 3 centimètres. Les premières seules sont, jusqu'à ce jour, réellement répandues dans les établissements industriels; cependant les secondes, que leurs qualités spéciales ont puissamment recommandées pour l'usage de la marine militaire, peuvent devenir, sous une forme ou sous une autre, susceptibles d'applications plus générales et méritent une place dans notre nomenclature. Parmi les chaudières à gros tubes, il est essentiel de distinguer le cas où le faisceau vaporisateur se compose d'éléments en forme de serpentin, les tubes de chaque élément étant associés en série, et les cas, plus nombreux, où tous les tubes sont associés en quantité. Enfin, ce deuxième arrangement comporte à son tour une subdivision : tantôt les tubes sont de forme simple et, à l'intérieur de chacun d'eux, l'eau et la vapeur n'ont à cheminer que dans un sens; tantôt ce sont des tubes intérieurement cloisonnés et fonctionnant sur le principe des tubes Field.

§ 1. Gros tubes d'eau associés en série.

Système Belleville. — Parmi les générateurs formés de tubes d'eau ayant un diamètre voisin de 10 centimètres, le système Belleville est le seul qui associe les tubes en série.

Chacun des éléments, dont la juxtaposition constitue le faisceau tubulaire, est un serpentin qui s'élève en zigzag, depuis le collecteur horizontal inférieur destiné à alimenter d'eau le système vaporisateur, jusqu'au réservoir supérieur où la vapeur est recueillie.

Cette constitution se rattache aux origines du système : le problème auquel Julien Belleville s'était attaché tout d'abord était celui de la vaporisation instantanée. Son générateur de 1850-1851 se composait de tubes de fer, de 19 à 20 millimètres de diamètre intérieur et d'un mètre de longueur chacun, associés en quantité cinq par cinq; les jeux de cinq tubes, placés horizontalement, étaient superposés au nombre de 20 et connectés en zigzag par des boîtes de jonction, de manière à constituer de quin-

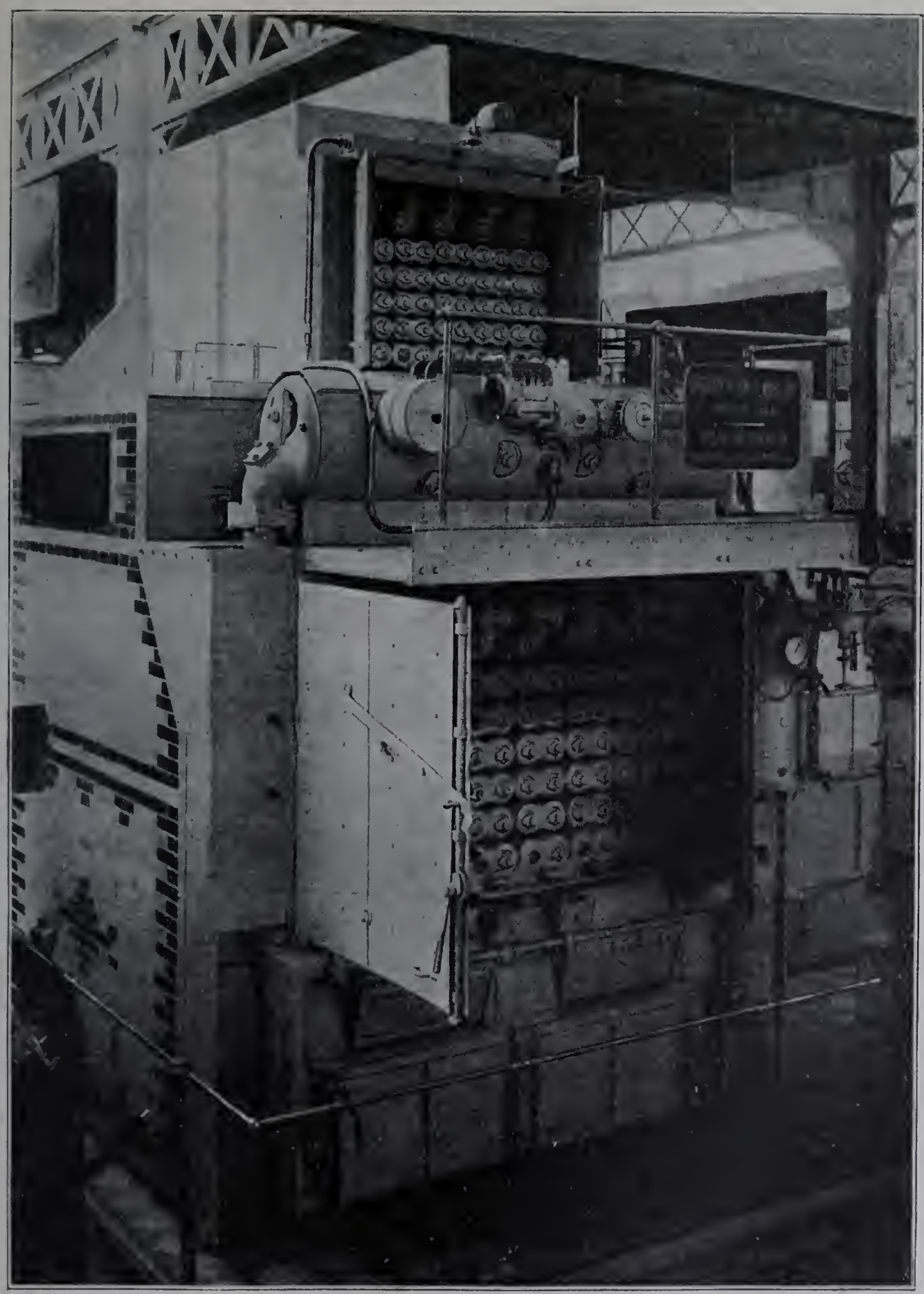


Fig. 58. — Chaudière Belleville.

tuples serpentins de 20 mètres de longueur. L'eau à vaporiser était injectée à la base; on recueillait au sommet la vapeur surchauffée, dont on surveillait la température au moyen d'un pyromètre. Le système échoua parce qu'on ne put venir à bout de l'instabi-

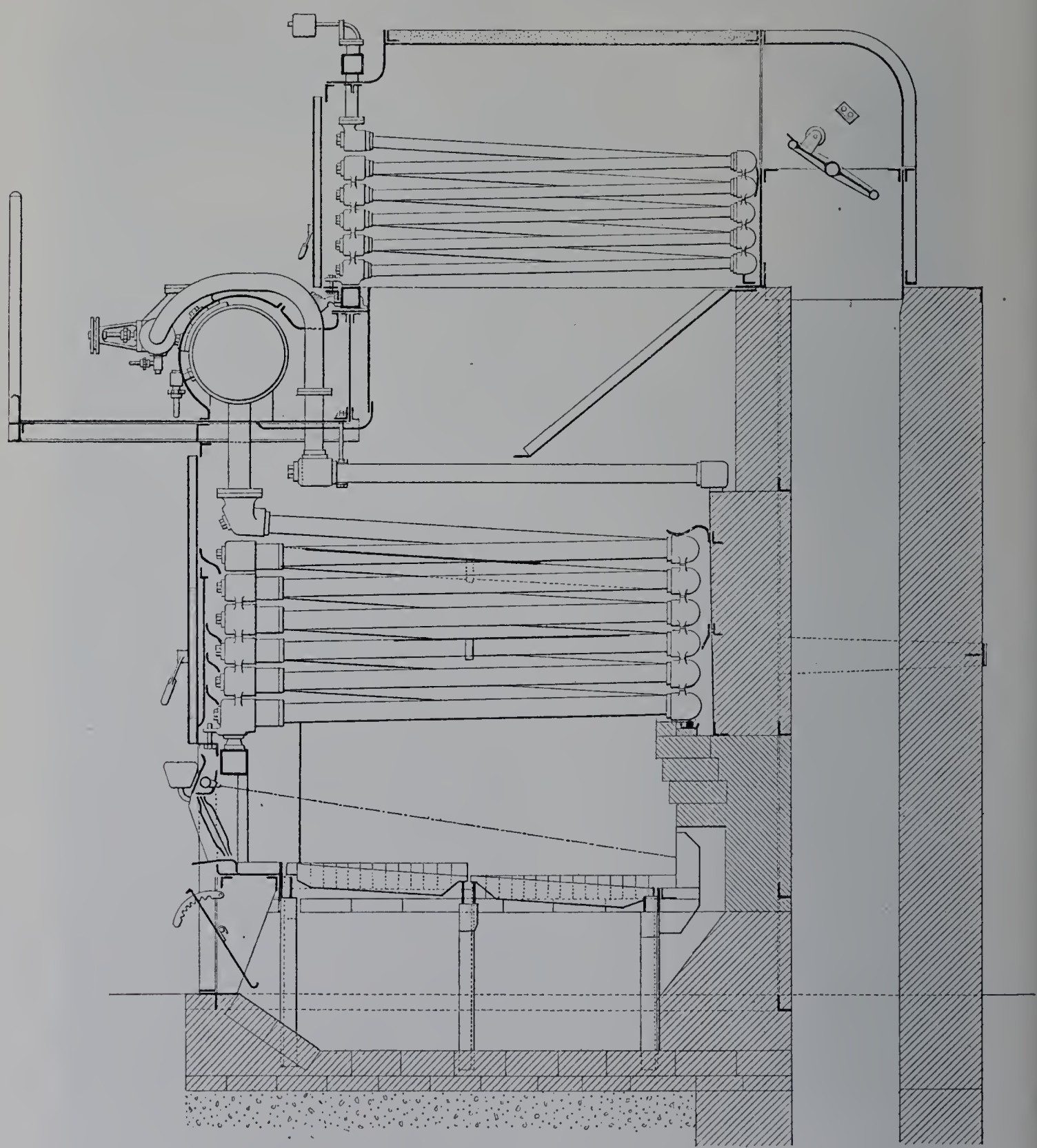


Fig. 59. — Chaudière Belleville avec économiseur; type fixe, modèle B-8. Coupe longitudinale.

lité du fonctionnement. Il suffisait d'un arrêt de la machine pour porter le faisceau tubulaire au rouge blanc; les tubes se détruisaient rapidement, les jonctions se disloquaient.

Belleville essaya ensuite l'emploi de serpentins continus diversement associés : ses efforts, poursuivis dans cette voie jusqu'en 1859, demeurèrent impuissants à constituer

un appareil durable et de fonctionnement régulier. C'est alors qu'il revint à l'emploi de tubes rectilignes, connectés en série pour former des serpentins simples associés en parallèle : mais, au lieu de s'efforcer d'injecter à la base de ces serpentins une quantité d'eau compensant à chaque instant la vaporisation, comme en 1850, il les laissa s'alimenter librement, reliés qu'ils furent à chacune de leurs extrémités par des collecteurs transversaux en communication avec un réservoir latéral d'eau et de vapeur, ou cylindre-niveau. Aux perfectionnements ultérieurs près, la chaudière Belleville était créée.

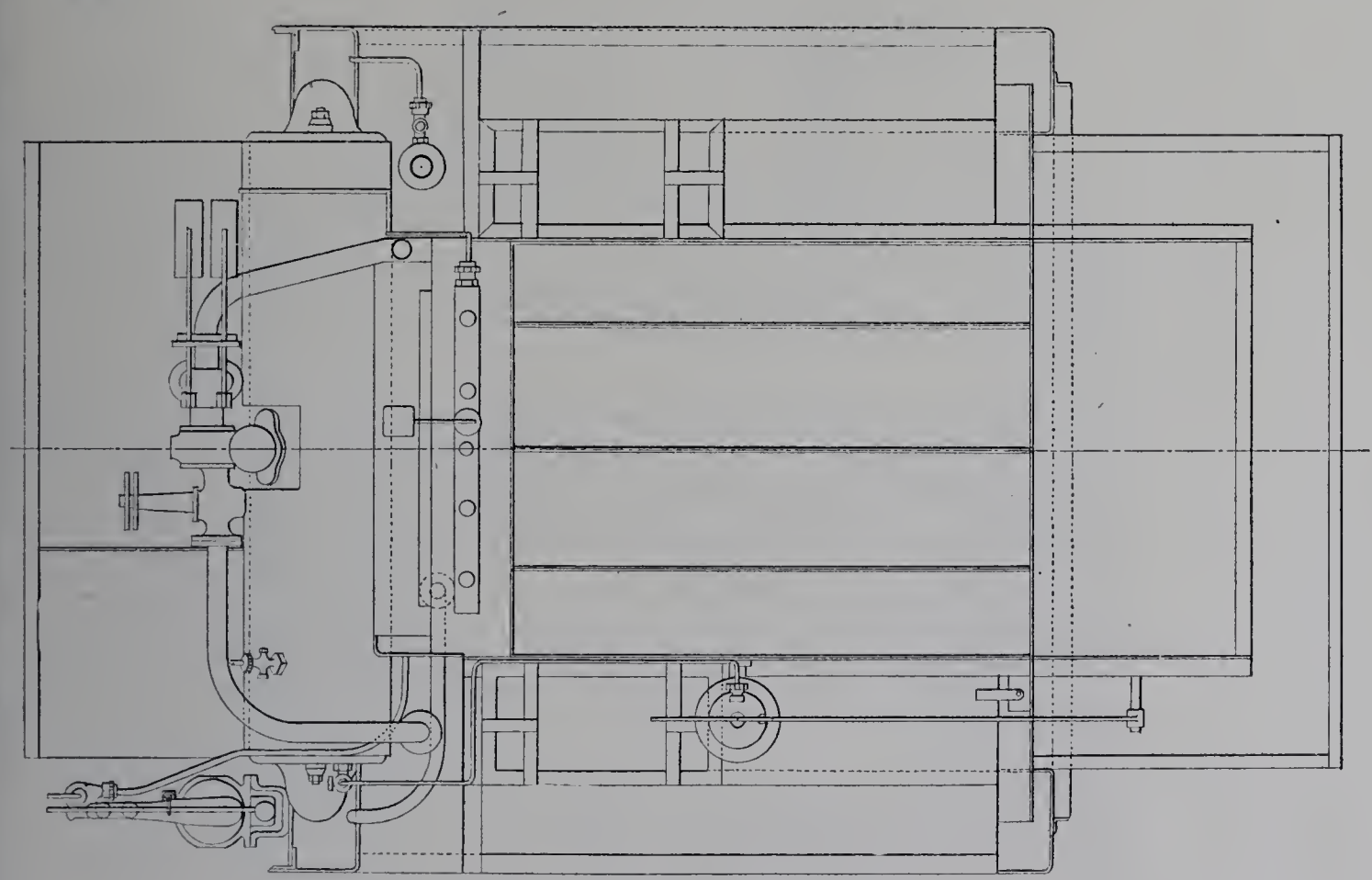


Fig. 60. — Chaudière Belleville. Plan.

Faisons un bond par-dessus les progrès intermédiaires et disons ce qui caractérise le modèle actuel. Ce modèle, qui date de 1896 (fig. 58 à 62), comporte un réchauffeur d'eau, ou économiseur. Cette adjonction permet, tout en accroissant le rendement, de réduire le nombre des tubes associés en série. Le générateur proprement dit n'a plus ses serpentins composés que de 6 ou 7 fourches successives.

L'appareil exposé appartient à la série B, dont les tubes vaporisateurs mesurent 100 millimètres de diamètre extérieur; il est dit du modèle B-8, parce que le faisceau vaporisateur se compose de 8 serpentins ou éléments associés en quantité. Les tubes ont 2 mètres de longueur et l'élément comprend 6 fourches, ce qui donne au serpentin un développement d'environ 25 mètres, pour une différence de hauteur d'à peu près $0^m 80$ entre les extrémités du zigzag. A la base, les éléments sont montés sur un collecteur transversal d'alimentation, à section carrée de $0^m 10$ de côté, par l'intermédiaire de bagues biconiques formant des ajutages rétrécis; au sommet ils commu-

niquent avec le réservoir supérieur, ou *épurateur* (fig. 63 et 64), par autant de tubes verticaux de $0^m 10$ de diamètre et d'environ $0^m 40$ de hauteur. Ces tubes sont prolongés à l'intérieur de l'épurateur par des manchettes saillantes, afin que l'eau entraînée

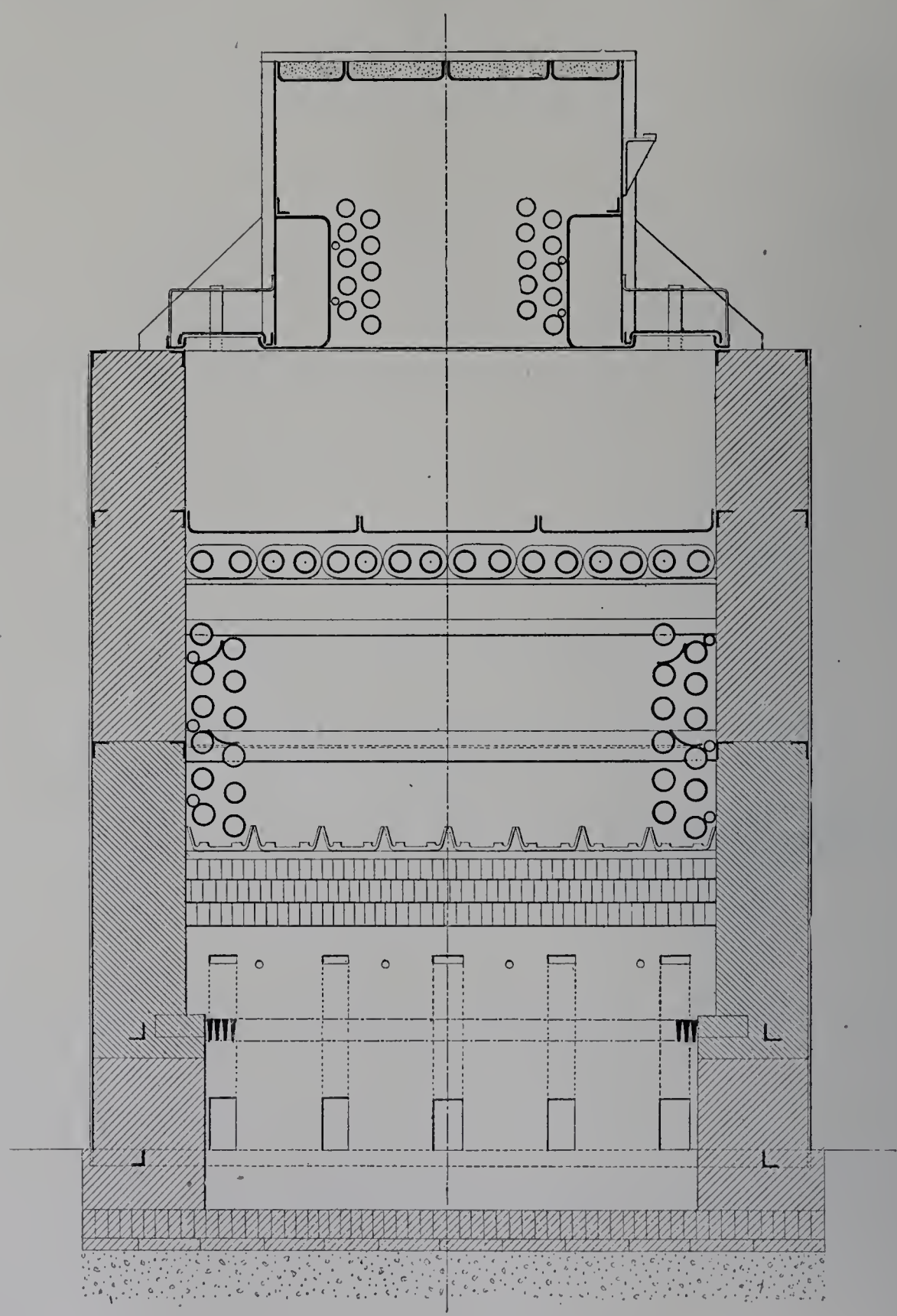


Fig. 61. — Coupe transversale.

avec la vapeur, une fois retombée au bas du réservoir, ne puisse rentrer dans les éléments par le haut. L'épurateur, de $0^m 42$ de diamètre, renferme un système attentivement étudié de cloisons formant chicanes, pour retenir et égoutter le liquide, pendant que

la vapeur est prise le long de la génératrice supérieure du réservoir par une ligne de menus orifices. Deux tuyaux de retour d'eau, symétriquement disposés à droite et à gauche, mettent l'épurateur en communication avec le collecteur transversal du bas : pour un générateur ayant un moindre nombre d'éléments, un seul retour d'eau suffirait. Ces tuyaux de retour sont greffés sur des allonges descendantes portées par les fonds

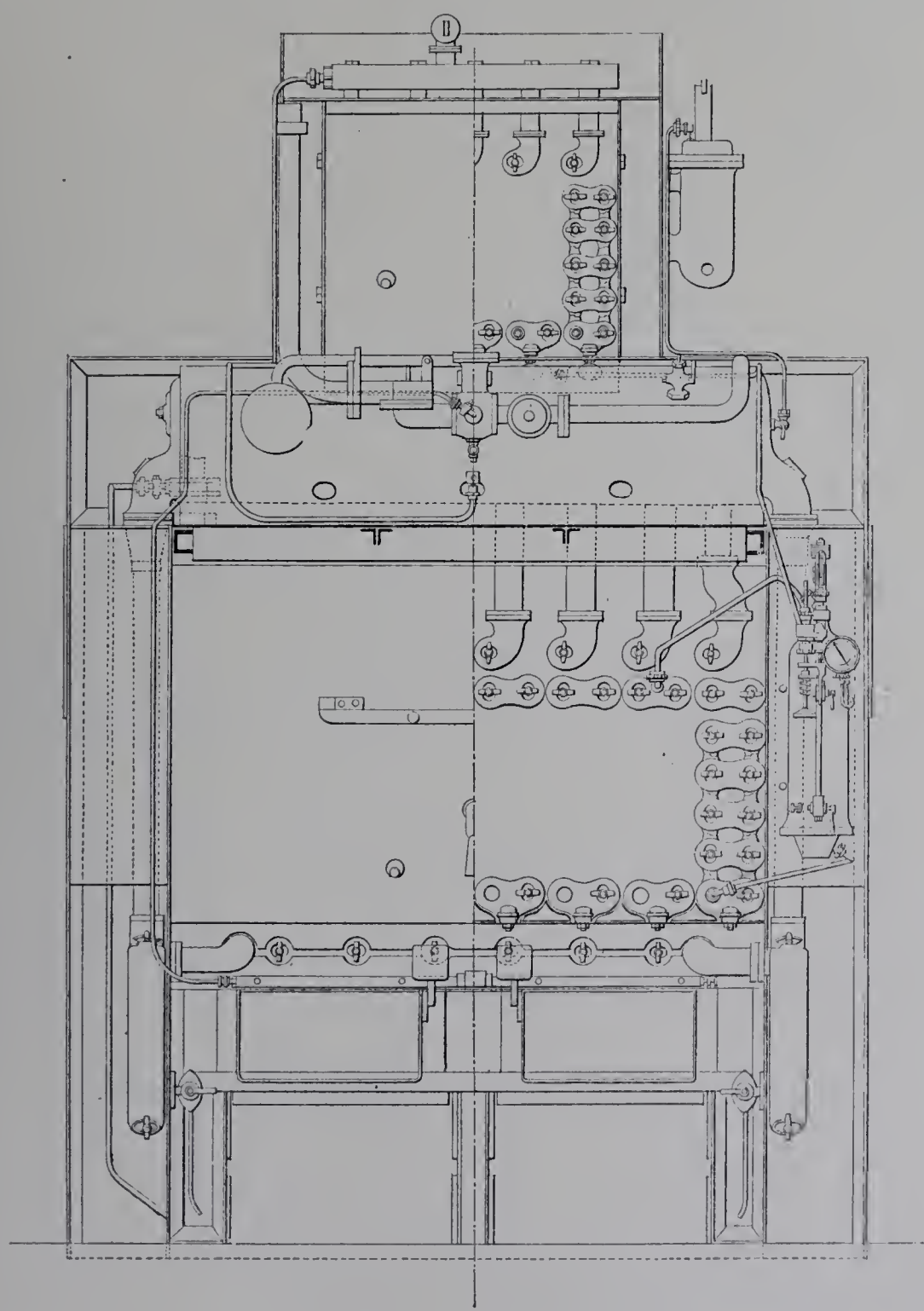


Fig. 62. — Vue de face.

de l'épurateur, tout à fait au bas de cette pièce, de manière qu'il y ait toujours tendance à vidange complète de celle-ci. Chacun d'eux se termine par un déjecteur vertical à recueillir les dépôts, qui se prolonge en cul-de-sac d'environ $0^{m}60$ au-dessous de la communication latérale établie avec le collecteur carré.

L'efficacité de ces déjecteurs repose sur ce que les hautes pressions et par conséquent

les températures élevées de la vapeur permettent de précipiter les dépôts sous forme de poudre, pourvu que l'eau d'alimentation soit injectée en gerbe dans la vapeur. C'est donc toujours dans l'épurateur supérieur qu'aboutit le becquet d'alimentation; les cloisonnements rabattent la gerbe vers le bas du réservoir. Disposé à l'opposé du retour d'eau quand celui-ci est unique, le becquet est placé dans le plan de symétrie, à mi-longueur de l'épurateur, lorsqu'il y a deux retours d'eau, comme c'est le cas pour la chaudière exposée.

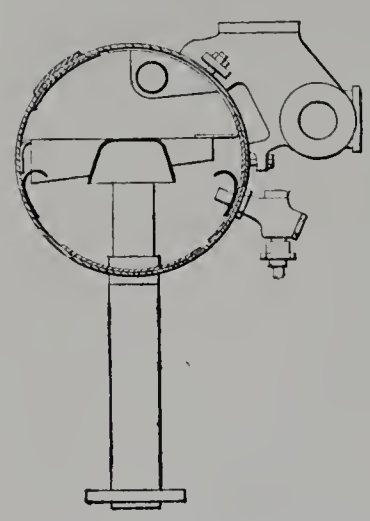


Fig. 63. — Épurateur Belleville, type fixe. Coupe transversale.

Le générateur Belleville n'est pas un appareil à vaporisation instantanée, puisque le liquide qui arrive au bas de chaque élément par le collecteur carré n'est pas seulement celui destiné à remplacer la vapeur formée; l'eau entraînée avec la vapeur dans le réservoir supérieur est ramenée au bas de ce réservoir par les chicanes et redescend par les tuyaux de retour d'eau, où elle chemine conjointement avec l'eau d'alimentation et d'où elle repasse dans les serpentins. Il y a donc, quand l'appareil produit de la vapeur, circulation de liquide; mais cette circulation ne correspond qu'à la quantité d'eau débouchant avec la vapeur au sommet des éléments : c'est, selon l'expression de M. Bertin [1], une circulation limitée.

La masse d'eau contenue à chaque instant dans l'ensemble de la chaudière n'est que le tiers environ de celle vaporisée en une heure. Si donc la proportionnalité de l'alimen-

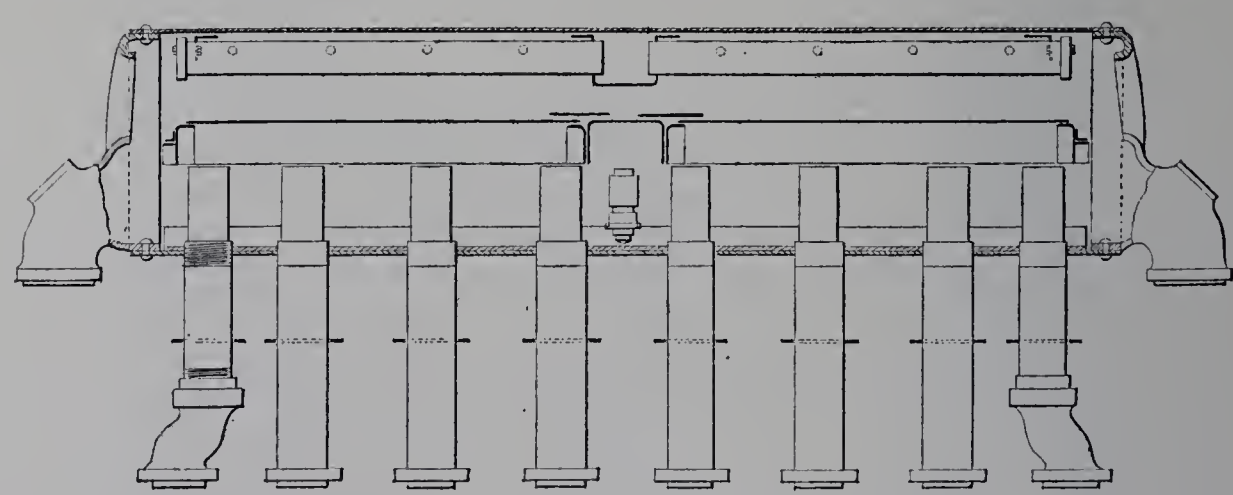


Fig. 64. — Epurateur d'un générateur Belleville, type fixe. Coupe longitudinale.

tation en eau au débit de vapeur ne s'impose pas avec la même rigueur que pour les générateurs à vaporisation instantanée, il est du moins nécessaire que les écarts soient contenus dans d'étroites limites. C'est l'office du régulateur automatique d'alimentation, commandant l'arrivée de l'eau au moyen d'une soupape équilibrée, sous la dépendance du flotteur suspendu dans la colonne de niveau. Celle-ci (fig. 65 et 66) est une bouteille

[1] L.-E. Bertin, *Chaudières marines*. — Paris, Bernard et Cie, 1896.

verticale reliée, par des tuyaux, aux deux boîtes de raccord d'où partent les fourches extrêmes de l'élément le plus voisin. Quand le générateur ne débite pas, il y a égalité de niveau d'eau, au faible écart près résultant des températures différentes du liquide, entre l'intérieur des éléments et la colonne; ce niveau statique est à peu près à hauteur de la quatrième fourche. Quand le générateur débite, il n'y a plus à parler de niveau liquide à l'intérieur des éléments, ceux-ci renfermant un mélange hétérogène d'eau et

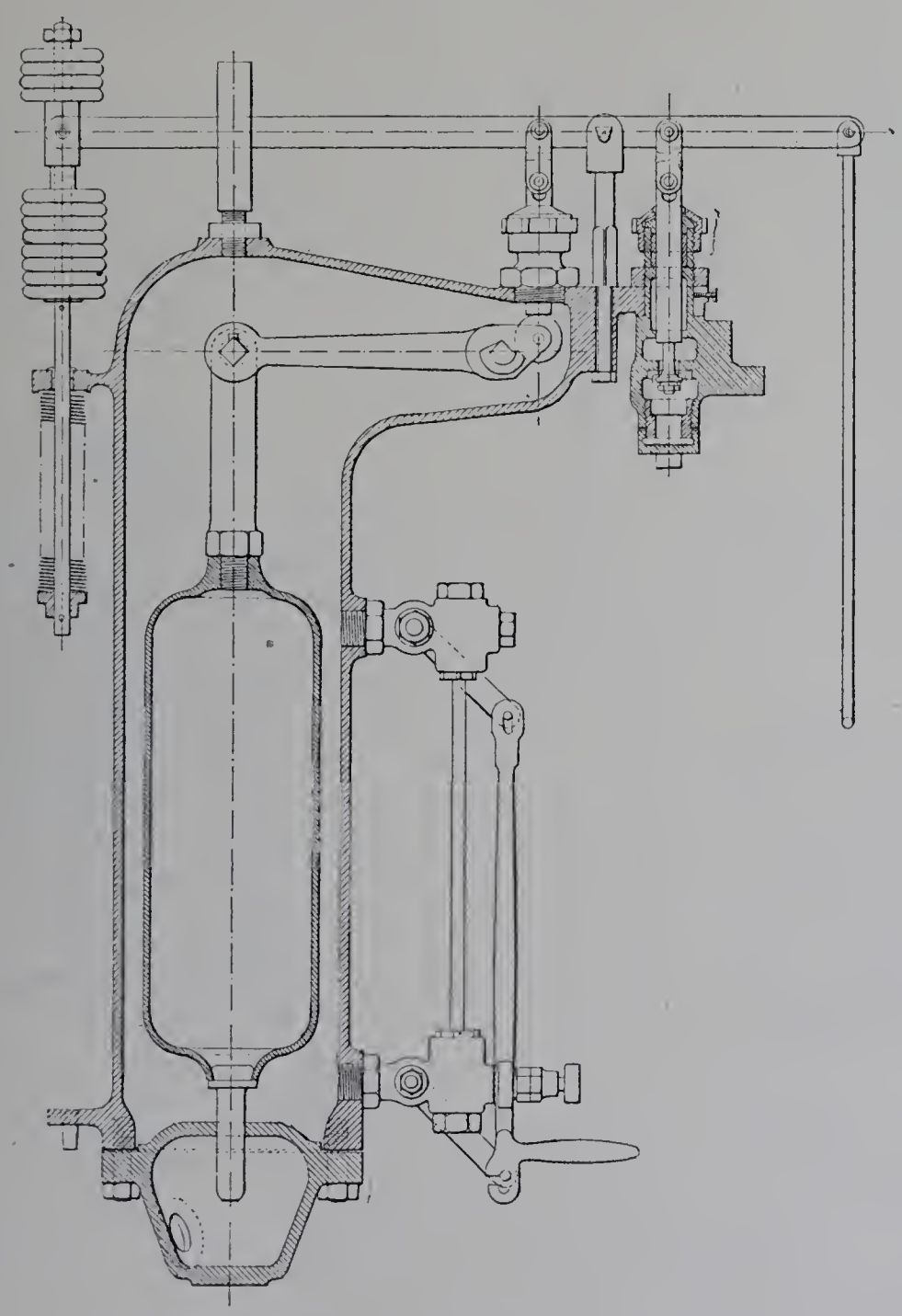


Fig. 65. — Régulateur d'alimentation de la chaudière Belleville.
Coupe de la bouteille de niveau et de la soupape à commande automatique.

de vapeur en mouvement, dont la densité moyenne va décroissant depuis le bas jusqu'en haut; mais la hauteur du liquide dans la colonne de niveau mesure la différence de pression entre la base et le sommet de l'élément avec lequel elle communique, et cette hauteur est fonction de la quantité d'eau contenue dans l'appareil.

Il est utile aussi pour la stabilité du régime, à raison de la petitesse du volant calo-

rifique, que le tirage du foyer soit activé ou ralenti dès que la pression commence à faiblir ou à s'élever : c'est pourquoi le registre est automatiquement manœuvré par un levier placé sous la dépendance d'un robuste manomètre en forme d'accordéon (fig. 67).

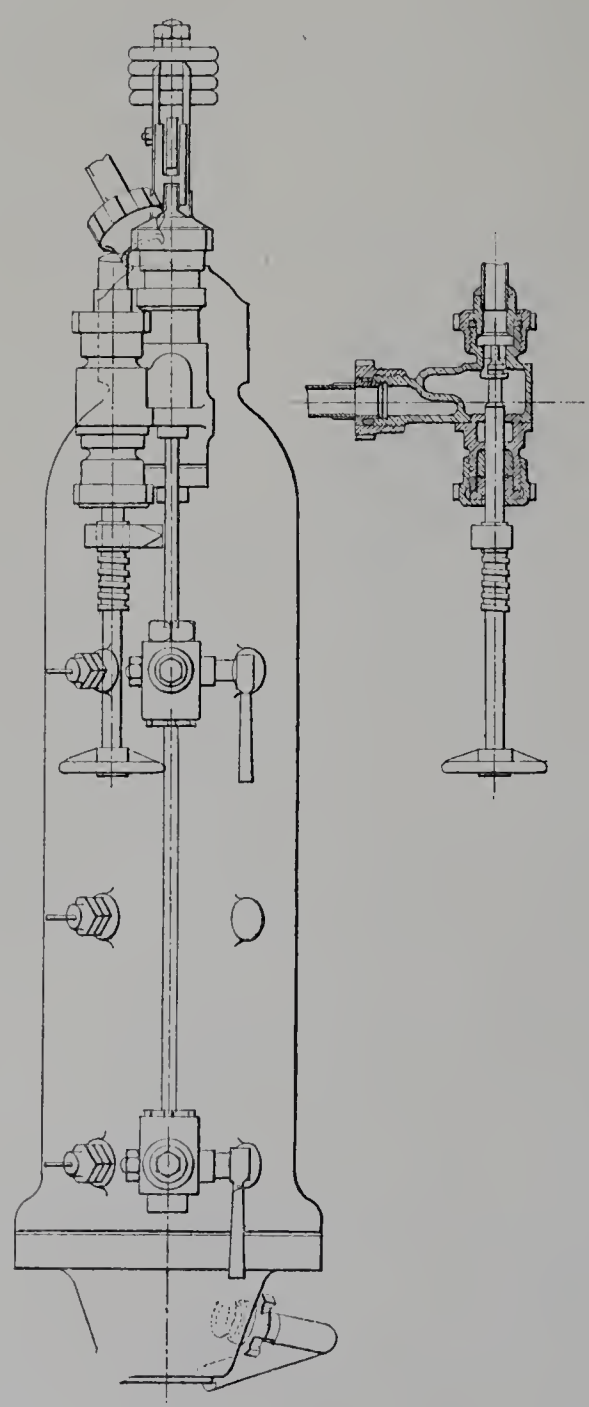


Fig. 66. — Régulateur d'admission de la chaudière Belleville. Vue de face de la bouteille de niveau et coupe de la soupape à main.

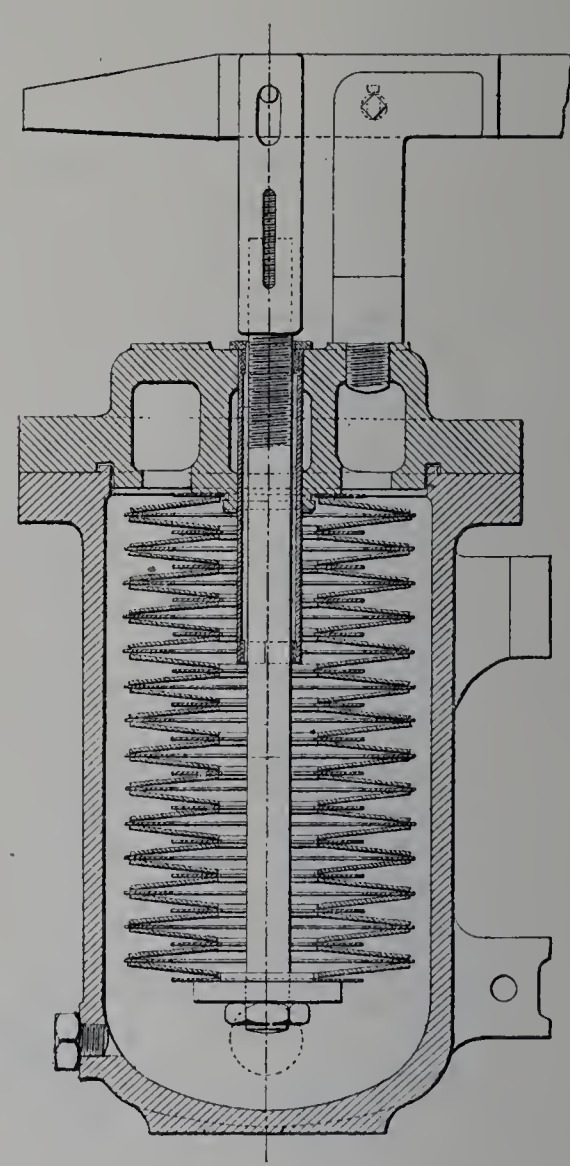


Fig. 67. — Chaudière Belleville. Commande automatique du registre.

Enfin, pour prémunir les tubes vaporisateurs, surtout ceux du bas qui sont les plus fortement chauffés, contre les effets des diminutions de puissance rafraîchissante qu'y éprouve l'eau lorsqu'elle se mélange de vapeur, on a soin de donner à ces tubes de fortes épaisseurs : le générateur du type B a des tubes de $9^{mm}75$ d'épaisseur pour la fourche inférieure de chaque élément, de $7^{mm}50$ pour la seconde fourche, de 5 millimètres pour les autres.

Ces tubes sont ou soudés à recouvrement, ou étirés sans soudure. Les boîtes de raccord sont d'acier moulé.

Les jonctions entre tubes et boîtes sont des assemblages vissés à demeure, suivant la disposition que les fig. 68 à 70 font comprendre. Les deux tubes de chaque fourche

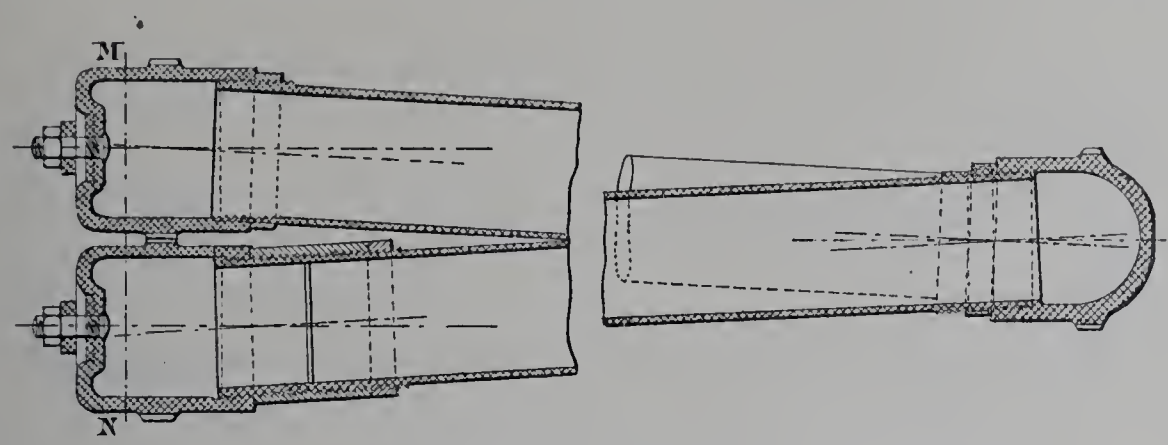


Fig. 68. — Constitution d'une fourche de générateur Belleville.
Coupe par ABCD de la figure 69.

sont directement vissés à l'arrière dans la boîte qui leur est commune; à l'avant, le tube de gauche est directement vissé dans la boîte qui lui correspond; quant à l'assemblage du tube de droite avec la boîte d'avant correspondante, il est obtenu par l'intermédiaire d'un manchon de raccordement; c'est un mamelon fileté, sur lequel vient s'adapter le manchon, qui est directement vissé dans la boîte de raccord. Les boîtes sont filetées au pas de $2^{mm}5$; le filetage des tubes et du mamelon est au pas de $2^{mm}54$. Cette légère différence, possible pour un assemblage à demeure, est destinée à assurer un portage étanche. Un surcroît de garantie est obtenu par l'addition d'une bague taraudée qui se visse sur la partie filetée du tube et qui vient faire serrage contre la boîte ou, pour l'assemblage *N* du tube de droite, contre le manchon de raccordement.

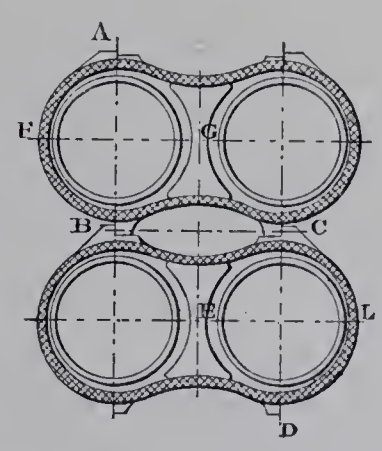


Fig. 69. — Constitution d'une fourche de générateur Belleville. Coupe par MN de la figure 68.

L'épaisseur des tubes permet de donner aux filets de vis une profondeur assurant à ces jonctions une parfaite solidité en même temps qu'une étanchéité constante. On serait loin d'obtenir les mêmes garanties par l'emploi d'emmanchements vissés portant sur des tubes minces et ayant des filetages à faible creux.

La forme des serpentins et l'indépendance des boîtes de raccord assure d'ailleurs aux diverses parties du faisceau tubulaire une complète indépendance de dilatation.

Les trous de poing et autres orifices de nettoyage sont tous ovales et formés par des tampons autoclaves en acier estampé (fig. 71).

Les boîtes de raccord de la façade antérieure sont les seules pourvues de trous de poing : la faible longueur individuelle des tubes permet en effet d'opérer par un seul bout les nettoyages et les examens intérieurs; on évite ainsi, dans l'installation, d'avoir à

laisser accessible l'arrière du générateur. D'autre part les intervalles restant entre ces boîtes de raccord sont suffisants pour le nettoyage des surfaces extérieures, de sorte qu'il n'est pas non plus nécessaire au service courant que le générateur soit accessible sur les côtés.

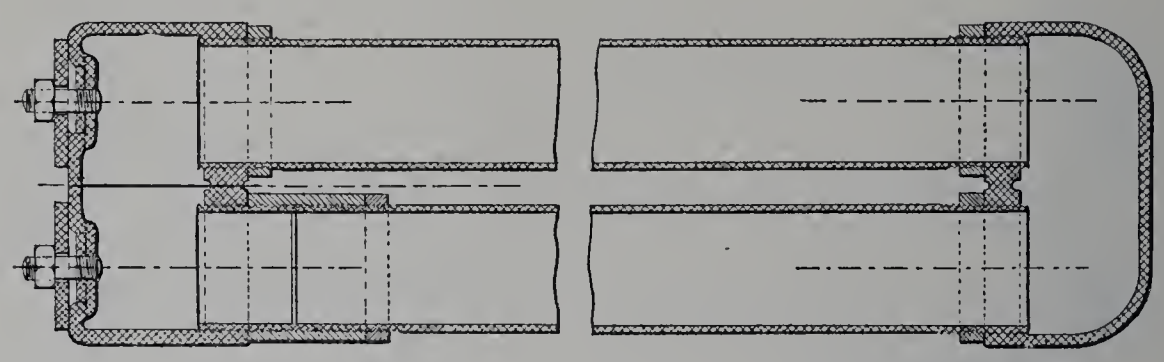


Fig. 70. — Constitution d'une fourche de générateur Belleville.
Coupe par FGEL de la figure 69.

Suivant le programme dont nous avons parlé, les fermetures de la façade sont disposées en vue d'empêcher, au cas où un tube vaporisateur viendrait à s'ouvrir, les gaz du foyer ou le jet de vapeur et d'eau de venir brûler le chauffeur : les portes du foyer, articulées autour d'un axe horizontal, s'ouvrent vers l'intérieur et ne sont tenues ouvertes que par le contrepoids qui les équilibre; elles sont toujours libres de se refermer sous la poussée des fluides qui tendraient à se répandre hors du fourneau. Les portes de cendrier, articulées aussi autour d'un axe horizontal situé plus haut que leur centre de figure, ne sont tenues ouvertes que par l'appui d'une crémaillère à dents émoussées qui n'oppose qu'une résistance minime à leur fermeture. Quant aux grands vantaux de la porte de la boîte à tubes, ils doivent être tenus fermés avec une solidité particulière, dans ce système où les boîtes de raccord des tubes laissent entre elles des vides par où un flux brûlant mis en liberté dans le fourneau aurait toute liberté de passer : cette porte à deux vantaux est munie, en conséquence, de deux moyens de fermeture qui ajoutent leurs effets, une crémone verticale et une barre de sûreté transversale. Enfin, toutes les fois que le générateur n'est pas directement coiffé, comme à bord des navires, d'une cheminée offrant une large section constamment ouverte, le fourneau du générateur présente, à sa partie supérieure, des trappes d'expansion disposées en vue d'offrir aux fluides brûlants qui seraient mis en liberté dans

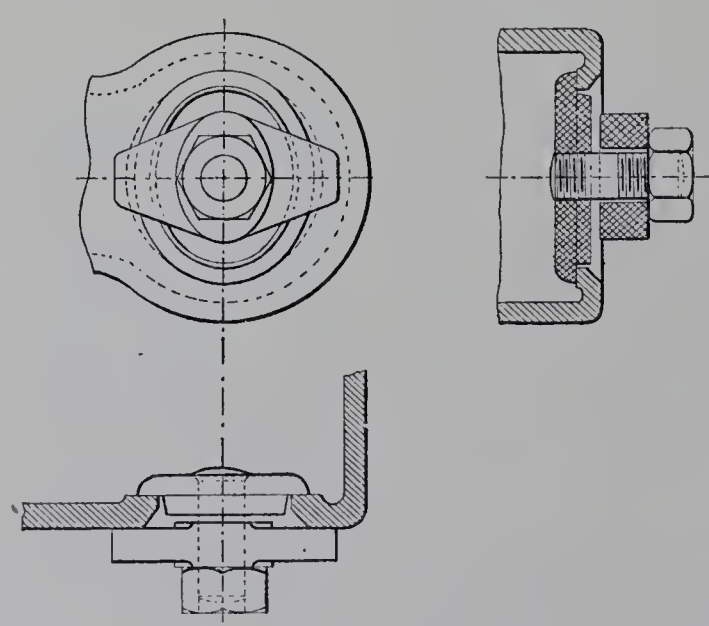


Fig. 71. — Autoclave sur une boîte de raccord (générateur Belleville).

le fourneau une issue inoffensive. Les fig. 60 et 61 laissent voir ces trappes d'expansion, disposées de part et d'autre du coffrage qui enveloppe l'économiseur.

Celui-ci est constitué d'une manière analogue au faisceau vaporisateur, mais avec de moindres dimensions. C'est ainsi que le générateur B-8, comprenant 8 éléments de 6 fourches dont la surface de chauffe est 60 mètres carrés, possède un économiseur composé de 5 éléments de 5 fourches, en tubes de 70 millimètres de diamètre, longs de $1^{m}80$, ce qui donne 20 mètres carrés de surface de chauffe. Les serpentins de l'économiseur sont alimentés d'eau froide, à leur extrémité inférieure, au moyen d'un tuyau adducteur commun qui court transversalement au-dessous d'eux; à leur extrémité supérieure, ils sont en communication, chacun par une tubulure verticale, avec un collecteur d'eau chaude à section carrée, pourvu d'une soupape de sûreté. C'est après avoir passé par le régulateur automatique d'alimentation que l'eau est envoyée à l'économiseur; du collecteur d'eau chaude, le liquide se rend directement au becquet d'alimentation du générateur proprement dit.

L'économiseur peut être placé au-dessus du générateur, comme le représentent les fig. 58 à 62; son addition n'entraîne ainsi aucune augmentation d'encombrement horizontal. Dans les installations où la place ne manque pas, il est parfois plus commode pour la surveillance et l'entretien de le disposer derrière. Il pourrait encore se trouver tel cas où l'on serait conduit à le mettre au-dessous.

A l'aval de la prise de vapeur du générateur proprement dit, le système Belleville comporte un dernier serpentin, faisant office de sécheur de vapeur. Ce serpentin, disposé horizontalement au-dessus du faisceau vaporisateur, se compose d'autant de fois deux tubes que le générateur compte d'éléments; mais tous ces tubes sont connectés en série, reliés qu'ils sont de l'un au suivant par une boîte de raccord. Le nombre en peut être multiplié, par une superposition en étages, dans le cas où l'on se propose de produire de la vapeur surchauffée.

Les gaz du foyer, brassés au-dessus de la grille au moyen d'un mélangeur à vapeur, puis chicanés par deux cloisons horizontales interposées dans le faisceau vaporisateur proprement dit, s'élèvent en serpentant au travers de ce faisceau, puis passent autour des tubes sécheurs ou surchauffeurs de vapeur et, après avoir rencontré au delà de ces tubes une dernière chambre de combustion où ils peuvent achever de brûler, circulent en dernier lieu au contact de l'économiseur.

§ 2. Gros tubes d'eau associés en quantité.

Caractères généraux du système. — En grande majorité, les chaudières à tubes d'eau appartiennent au système que M. Bertin appelle celui de la circulation libre. Les tubes composant le faisceau vaporisateur sont parallèles et associés tous en quantité; à cet effet, ils sont reliés entre eux, tant à l'avant qu'à l'arrière, soit par une série de collecteurs verticaux (ou à peu près tels), juxtaposés parallèlement, soit par un caisson à faces planes entretoisées. Les deux jeux de collecteurs verticaux, ceux d'avant et ceux

d'arrière, ou les deux caissons collecteurs, sont en communication avec un réservoir supérieur; l'appareil contient de l'eau jusqu'à mi-hauteur de ce réservoir. La vapeur formée, dès qu'elle a cheminé en s'élevant jusqu'à l'extrémité antérieure d'un tube, trouve par le collecteur ou le caisson d'avant un dégagement direct vers le réservoir supérieur. Au débouché des collecteurs ou des caissons d'avant, le réservoir reçoit, en un flux ascendant, toute la vapeur engendrée dans le faisceau vaporisateur. Quant à l'eau, elle a toute facilité d'obéir aux mouvements de circulation qui tendent à se produire dans le système.

Lorsque les tubes, à chaque extrémité, sont reliés par une série de collecteurs verticaux, le faisceau tubulaire se trouve divisé en un certain nombre d'*éléments* juxtaposés, associés en parallèle pour produire la vaporisation totale de la chaudière. Quand ce sont des caissons qui reçoivent les extrémités des tubes, ce sectionnement n'existe pas : les lames d'eau de l'avant et de l'arrière correspondent chacune à tout l'ensemble du faisceau. Le fonctionnement, dans les deux cas, est le même en principe.

Mais les deux solutions diffèrent, dans le détail, par des caractères liés aux nécessités de la construction. La jonction de l'extrémité antérieure du faisceau vaporisateur avec le réservoir supérieur d'eau et de vapeur est, en particulier, faite assez différemment dans les deux cas.

Dans le système des collecteurs verticaux juxtaposés, cette jonction a lieu par une série de tubulures, qui coiffent les divers éléments entre lesquels est divisé le faisceau vaporisateur. L'ensemble de ces tubulures occupe, dans le sens transversal à l'axe du générateur, une étendue sensiblement égale à la largeur du faisceau. Le réservoir supérieur doit donc, dans la partie qui reçoit les pièces de jonction, être suffisamment étendu transversalement : soit qu'il se compose, en tout ou partie, d'un corps cylindrique disposé parallèlement à la façade, comme par exemple dans les chaudières Roser; soit que, sous un corps cylindrique disposé en long, le constructeur ait fixé un piétement transversal ou ait ménagé, par voie d'emboutissage, une paroi plane allongée transversalement, comme par exemple dans les générateurs Babcock et Wilcox à grand corps supérieur. Ce dernier genre de solution impose une limite relativement étroite à la largeur du faisceau vaporisateur susceptible de correspondre à un corps supérieur unique. La section totale offerte au dégagement de la vapeur dans le réservoir supérieur est d'ailleurs, dans ce système, tout naturellement proportionnelle au nombre des éléments.

Dans les générateurs où la division en éléments n'existe pas, le corps supérieur, disposé en long, communique par une tubulure plus ou moins large avec le milieu de la partie supérieure du caisson d'avant. Toute la vapeur qui s'élève dans le caisson doit passer par cette tubulure unique. Avec un réservoir supérieur de $1^{m}30$ de diamètre, les constructeurs allemands vont jusqu'à une largeur voisine de $2^{m}50$ pour le caisson. Au delà, force est de diviser le réservoir supérieur en deux réservoirs parallèles, à chacun desquels correspond une tubulure de communication avec le réservoir supérieur.

Du côté de l'arrière, c'est-à-dire de l'extrémité la plus basse des tubes vaporisateurs, deux dispositions sont employées. Tantôt le jeu des collecteurs verticaux d'arrière ou le

caisson collecteur unique est mis en communication directe par le haut avec le réservoir supérieur; les dispositions de l'arrière peuvent être, en ce cas, à certaines cotes près, pareilles à celles de l'avant; tantôt, en vue de favoriser l'arrivée de l'eau dans les tubes vaporisateurs des rangées inférieures, siège de la vaporisation la plus active, ce n'est point par le haut, mais par le bas que la partie postérieure du faisceau est mise en relation avec le corps supérieur. A cet effet, dans le système des éléments verticaux juxtaposés, les collecteurs d'arrière sont fermés par le haut et le réservoir horizontal formant collecteur de dépôts, sur lequel ils sont greffés par le bas, est mis en communication par un ou plusieurs tuyaux de retour d'eau avec le corps cylindrique supérieur. Dans le système des lames d'eau, nous verrons plus bas qu'un constructeur cloisonne le caisson pour assurer le même résultat.

La partie basse des collecteurs verticaux d'arrière ou du caisson postérieur constitue un lieu naturel de rassemblement des dépôts. C'est pourquoi, dans les chaudières à éléments juxtaposés, les collecteurs verticaux d'arrière sont toujours en relation avec un réservoir cylindrique horizontal, disposé transversalement au-dessous d'eux, et d'où l'on extrait de temps en temps les boues et les sels précipités.

Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur peut être, par rapport au faisceau des tubes vaporisateurs, très diversement proportionné. La masse de liquide à haute température qu'il renferme constitue la réserve d'énergie, le *volant calorifique* du générateur. Il est des cas où l'on s'est résolu, de propos délibéré, à réduire à peu de chose ce volant calorifique : c'est lorsqu'on a visé avant tout à la légèreté de l'appareil; c'est encore lorsqu'on a pris pour condition essentielle de constituer un générateur dont la rupture ne pût jamais produire, même en cas d'explosion du corps supérieur, d'effets dynamiques redoutables à distance. Dans ces cas, le réservoir supérieur est un simple ballon, de dimensions strictement suffisantes pour la séparation de la vapeur et du liquide. Pour d'autres applications, au contraire, il importe que l'appareil ait une stabilité de régime largement assurée et ne risque pas de manquer d'eau facilement; le réservoir supérieur emprunte alors les dimensions et le caractère d'un véritable corps de chaudière, et le générateur à tubes d'eau peut être considéré comme dérivant du générateur à bouilleurs du vieux type français, par la substitution, aux deux bouilleurs, d'un faisceau de tubes vaporisateurs suspendu sous le corps principal.

Celui-ci peut être chauffé jusqu'à petite distance au-dessous du niveau de l'eau, à la manière d'une chaudière cylindrique, par les gaz chauds qui se sont élevés entre les tubes vaporisateurs, ou bien il peut être soustrait à tout chauffage et constituer un simple réservoir surmontant le massif du fourneau. La première combinaison soustrait au rayonnement extérieur et ajoute à la surface de chauffe une certaine étendue du paroi; toutefois l'accroissement de surface de chauffe que l'on se procure ainsi est relativement assez faible. En ne chauffant pas le réservoir supérieur, on est à même de le placer dans des conditions plus faciles de conservation et de surveillance.

Chaudières à éléments juxtaposés. — *Type Babcock et Wilcox.* — Ce sont surtout

IMPRIMERIE NATIONALE.

des exposants français qui ont présenté des types à éléments verticaux juxtaposés. L'un de ces types cependant, celui qui conserve le nom de Babcock et Wilcox, est d'origine américaine; mais sa construction, qui a reçu, durant ces dernières années, d'importants perfectionnements, est faite, pour notre pays, par une compagnie française, dont l'usine est située à la Courneuve, près Paris.

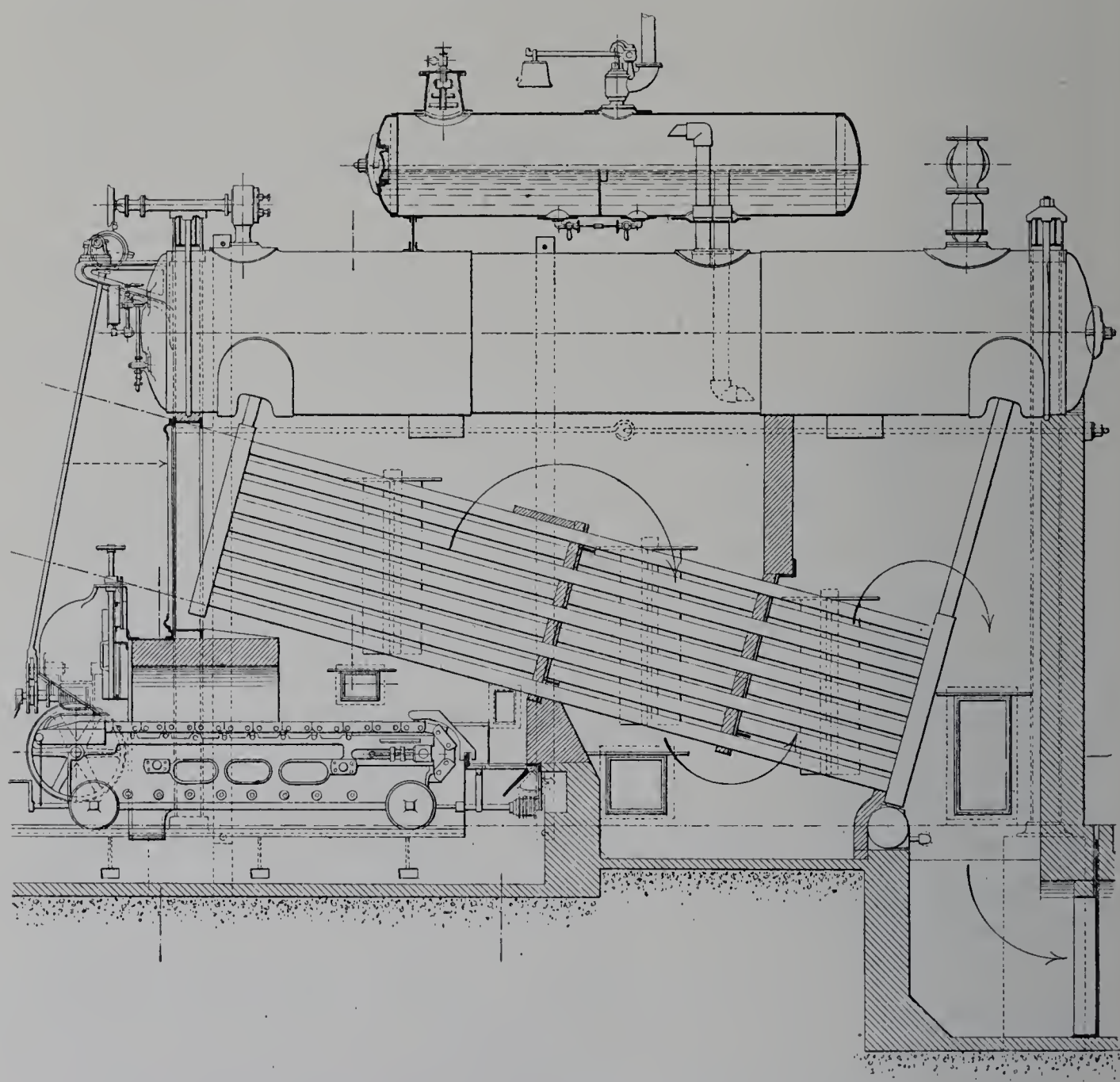


Fig. 72. — Chaudière Babcock et Wilcox. — Coupe longitudinale.

Les générateurs de la Cie FRANÇAISE BABCOCK ET WILCOX (fig. 72 et suivantes) ont généralement leurs faisceaux vaporisateurs formés de tubes de 102 millimètres de diamètre intérieur, et d'une longueur aussi grande que le permettent les nécessités du nettoyage eu égard à ce diamètre : cette longueur, dans le type industriel présenté à l'Exposition, atteint $5^m 50$ environ. Les collecteurs verticaux sont ondulés, de telle manière que les tubes successifs d'un même élément, au nombre de neuf dans le type normal, ne superposent pas leurs axes dans un plan vertical unique, mais les placent alternativement dans deux plans verticaux voisins : l'ensemble du faisceau présente

par suite une disposition en quinconce, favorable au brassage des gaz de la combustion et à l'efficacité de la surface de chauffe. Ces collecteurs ondulés sont d'intéressantes pièces de forge, façonnées à la presse hydraulique.

En regard de chaque orifice recevant l'extrémité d'un tube vaporisateur, le collecteur ondulé est naturellement percé d'un trou de poing. Autrefois circulaires et fermés par des tampons extérieurs qui n'étaient retenus que par des boulons à ancre, ces trous de poing sont maintenant à fermeture autoclave : leur forme est ovale et l'obturation de chacun d'eux est obtenue au moyen d'un tampon intérieur, dont la position est assurée par un croisillon (fig. 74) ou par un contre-tampon plein (fig. 75).

Les tubes sont assemblés sur les collecteurs ondulés par sertissage au *dudgeon*. L'appareil se compose (*fig.* 76) d'un mandrin A légèrement conique, que l'on enfonce dans le corps d'outil B de manière à serrer fortement les galets C contre la paroi intérieure du tube à sertir; cela fait, on imprime au mandrin une rotation qui fait rouler les galets et par suite refoule régulièrement le métal sur toute la circonférence du tube; quand le serrage diminue, on le rétablit par un nouvel enfoncement du mandrin, puis on reprend la manœuvre de rotation, et ainsi de suite jusqu'à l'achèvement du travail. Il est essentiel que le corps d'outil, tout en restant libre de tourner sous l'action du roulement des galets, soit assujetti dans une position précise par rapport à l'extrémité du tube, afin que les galets agissent exactement sur la zone qui doit recevoir l'expansion. A cet effet, sa surface cylindrique extérieure est striée d'une série de rainures circulaires et on lui adapte, à une distance ou à une autre de la couronne de galets, un collier D intérieurement rainuré. Le collier D est en deux moitiés réunies par une bague coulissante E. C'est par l'appui du collier contre l'extrémité du tube à sertir que l'on fixe la distance des galets à cette même extrémité.

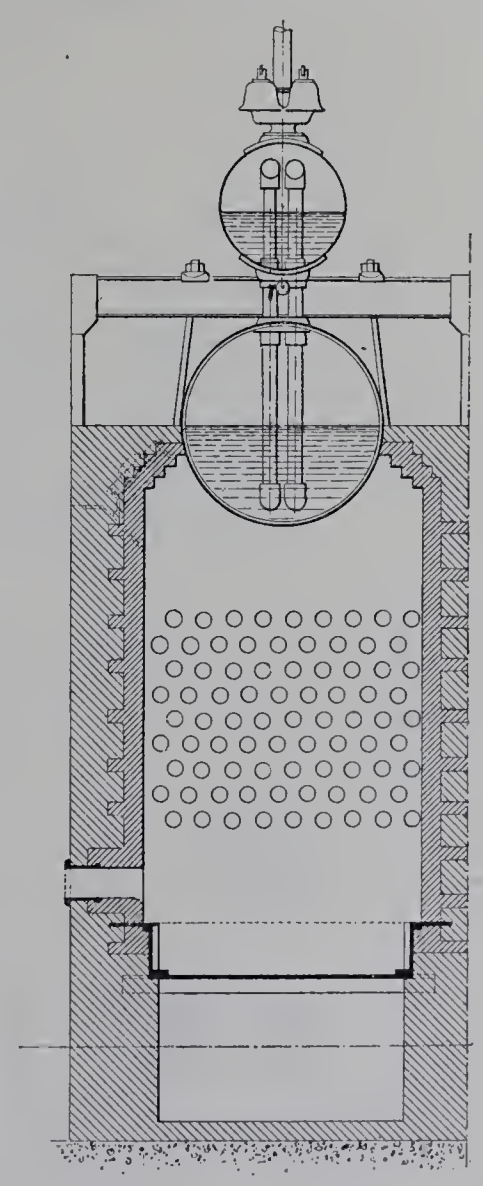


Fig. 73. — Chaudière Babcok et Wilcox. Coupe transversale.

Le dudgeon est présenté par l'ouverture du trou de poing et coiffe l'extrémité à sertir (fig. 77).

Il faut avoir soin que le tube dépasse à l'intérieur du collecteur et que les galets, une fois le dudgeon en place, appuient non seulement contre la zone qui correspond à la paroi du collecteur, mais aussi contre la zone dépassante, ainsi que l'indique la figure. De cette manière, l'action des galets, favorisée par la conicité du mandrin, forme à l'extrémité du tube un bourrelet, dont la saillie doit être franchement accusée et dont l'épaulement constitue la sécurité de l'assemblage.

C. F. E.

Les collecteurs sont reliés au réservoir supérieur d'eau et de vapeur par des tubes de raccord, ayant même diamètre que les tubes vaporisateurs et constitués de la même

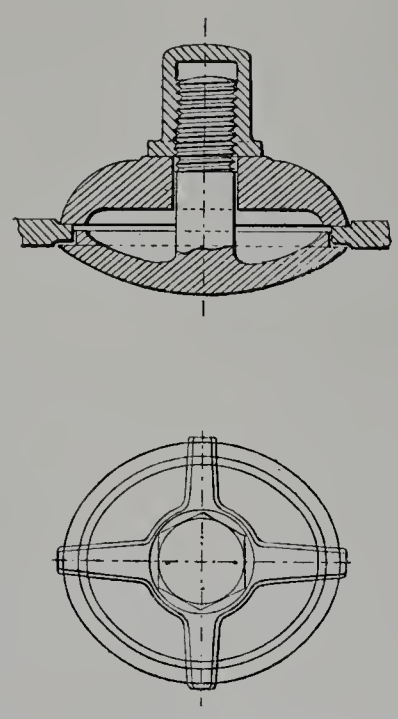


Fig. 74. — Autoclave de trou de poing, avec croisillon extérieur (Babcock et Wilcox).

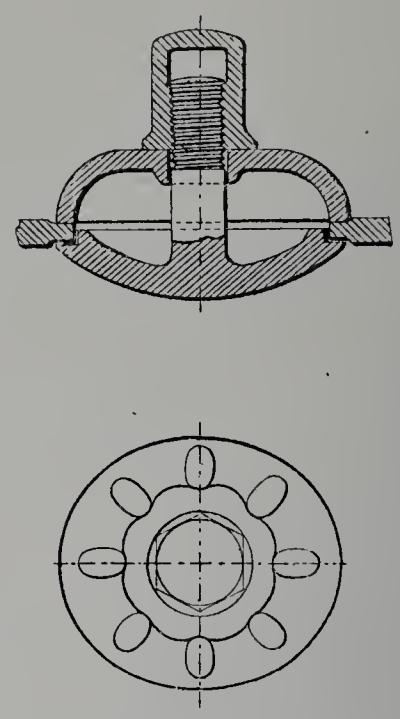


Fig. 75. — Autoclave de trou de poing, avec contre-tampon extérieur (Babcock et Wilcox).

manière que ceux-ci. Lorsque le réservoir supérieur est un corps de chaudière longitudinal, comme dans le type normal destiné aux applications industrielles, ces tubes

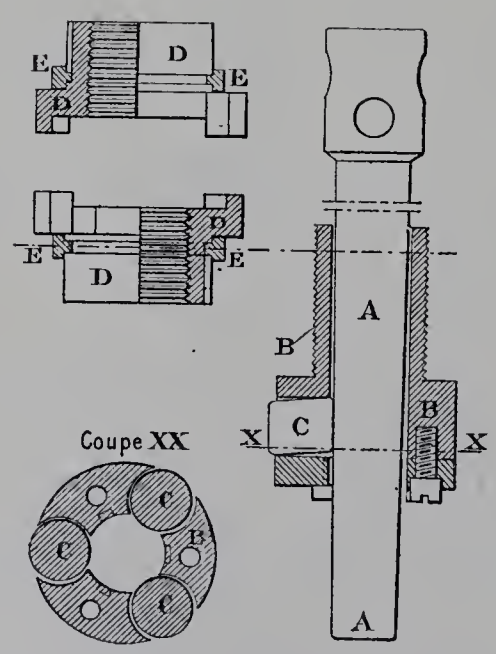


Fig. 76. — Dudgeon.

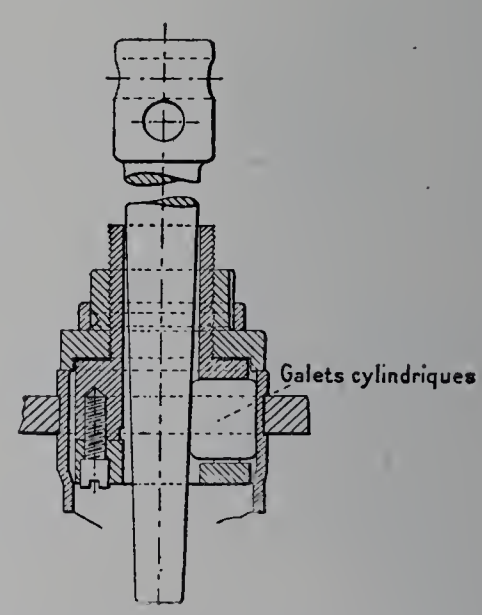


Fig. 77. — Sertissage d'un tube vaporisateur.

de raccord forment prolongement rectiligne des collecteurs qu'ils surmontent; ils sont courts à l'avant et longs d'environ $1^{m}60$ à l'arrière, à cause de l'obliquité du faisceau vaporisateur.

C'est également par sertissage qu'ils sont assemblés, à leurs deux extrémités, sur les pièces qu'ils réunissent. Pour l'assemblage sur le collecteur ondulé, l'on ne présente pas le dudgeon du côté de l'extrémité à sertir, comme nous venons de le dire pour les tubes vaporisateurs. Il est plus commode d'introduire l'outil par l'autre bout du tube (fig. 78), ce qui l'oriente dans le mauvais sens, la conicité du mandrin étant cette fois défavorable à la formation d'un épaulement net et d'un bourrelet accusé au delà de la zone d'assemblage. Mais on a soin de remédier à cet inconvénient en employant des galets coniques, afin d'assurer dans tous les cas la formation de cet épaulement indispensable.

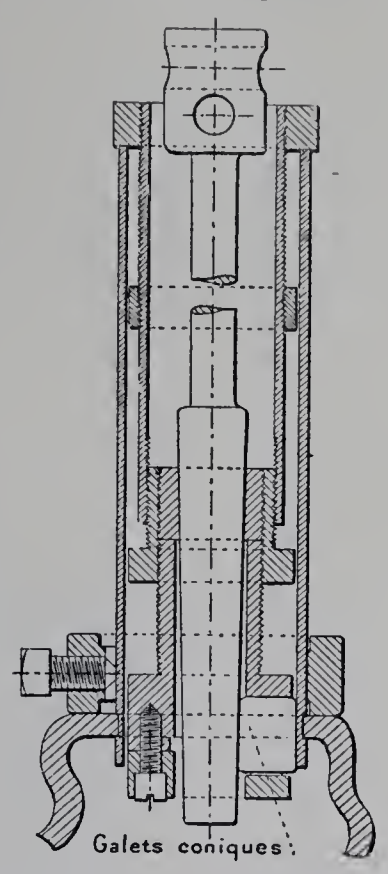


Fig. 78. — Sertissage d'un tube de raccord sur un collecteur ondulé.

Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur, dans ce type industriel, est de dimensions importantes, afin d'assurer un régime stable et un facile dégagement de vapeur sèche. Sa longueur, dépassant celle du faisceau vaporisateur, atteint 7 mètres environ; son diamètre est voisin d'un mètre.

C'est sur des pièces embouties, substituées localement à la partie inférieure de la paroi cylindrique et formant plaques tubulaires planes, que les tubes de raccord viennent s'assembler.

Les collecteurs ondulés d'arrière sont, par le bas, en communication avec un collecteur horizontal de dépôts, de forme cylindrique, disposé transversalement au-dessous d'eux. L'assemblage est obtenu, suivant les mêmes principes, au moyen d'une série de tubes courts de raccord. Le sertissage de ceux-ci sur le collecteur de dépôts se fait avec le dudgeon tourné dans le mauvais sens; on emploie en conséquence des galets coniques, comme l'indique la figure 79.

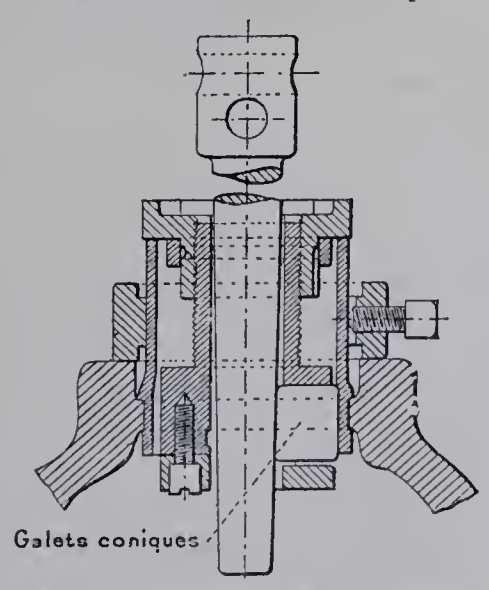


Fig. 79. — Sertissage d'un tube de raccord sur le collecteur de dépôts.

La grille se trouve naturellement placée sous l'extrémité la plus élevée des tubes vaporisateurs : étant donnée la grande longueur de ceux-ci, cette disposition s'impose pour faciliter le dégagement de la vapeur formée au coup de feu, en même temps que pour ne pas exagérer l'encombrement en hauteur. Un système de cloisons verticales, visible sur les dessins, allonge le trajet des gaz chauds et brasse ces gaz, en même temps qu'il atténue l'inégalité de chauffage entre les rangées inférieures et les rangées supérieures des tubes.

C'est à cette description que répondent :

1° A l'usine La Bourdonnais, 8 chaudières de 170 mètres carrés de surface de chauffe et $3^{m\text{q}}$ 11 de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 55\right)$; le faisceau vaporisateur de chacun

de ces appareils se compose de 9 éléments verticaux de 9 tubes; le corps supérieur mesure $1^m 20$ de diamètre;

2° A l'usine Suffren, 4 chaudières de 300 mètres carrés, dont les dispositions générales sont indiquées par les fig. 80 et 81. Ici le faisceau vaporisateur ne comprend pas moins de 16 éléments. Un nombre aussi grand de collecteurs verticaux ne pouvant être mis en communication avec un seul réservoir longitudinal, on a associé deux corps supérieurs, de $1^m 07$ de diamètre, disposés parallèlement. La grille, de son côté, est desservie par deux portes;

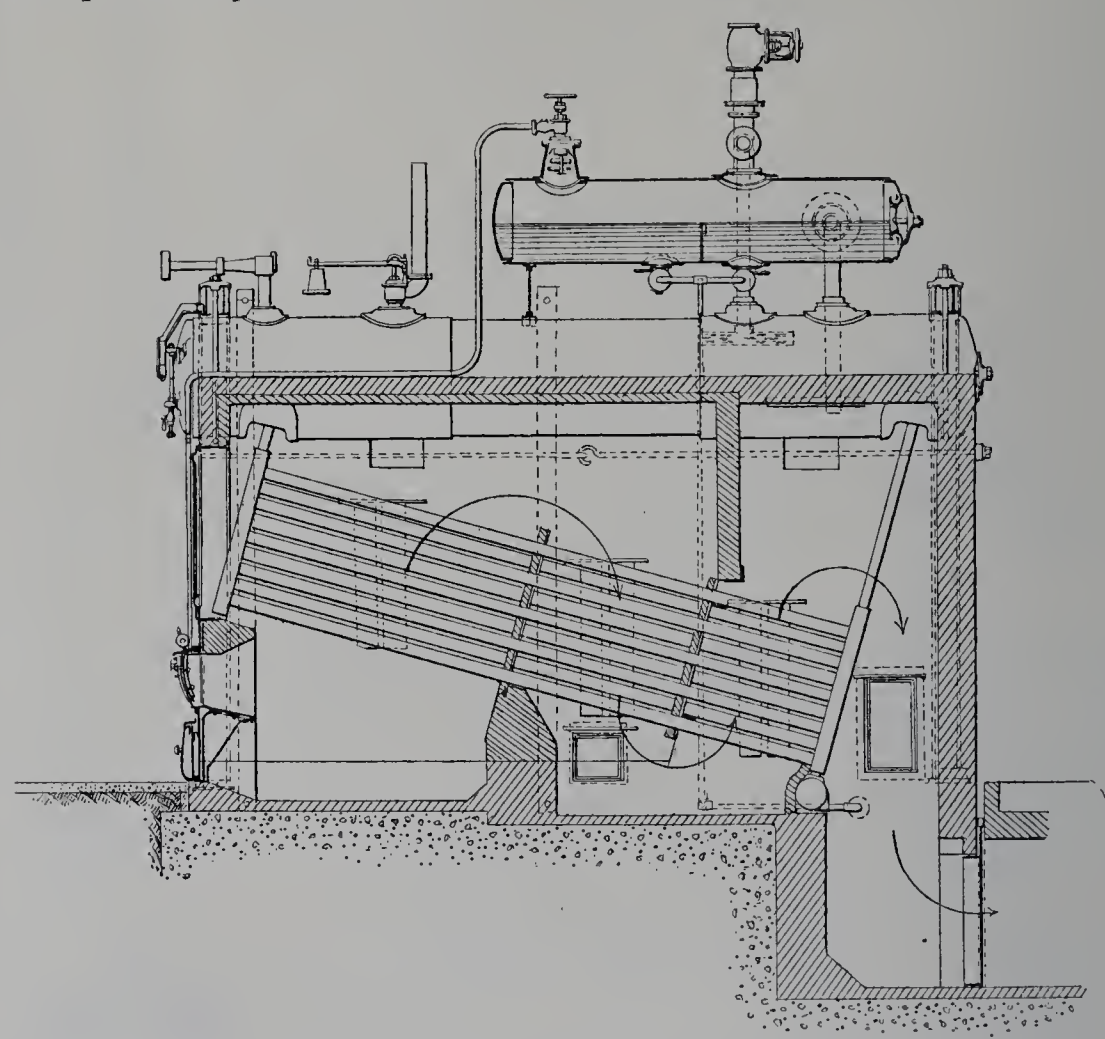


Fig. 80. — Chaudière Babcock et Wilcox de 300 mètres carrés de surface de chauffe. Coupe longitudinale.

3° Au bord de la Seine, à l'usine élévatoire des pompes Worthington, 4 générateurs de 144 mètres carrés, n'ayant que 6 éléments par faisceau, un corps supérieur de $0^m 92$ de diamètre, et analogues, pour le surplus, à ceux de la batterie La Bourdonnais.

Parmi les détails que montrent les fig. 72, 73, 80 et 81, on notera un dispositif récemment combiné par la Compagnie Babcock et Wilcox en vue de précipiter et, dans la mesure du possible, de retenir les dépôts avant l'introduction de l'eau d'alimentation dans les parties chauffées de l'appareil. Au-dessus du corps supérieur est placé un récipient cylindrique horizontal en relation avec la chaudière par deux tuyaux d'ascension de vapeur et deux tuyaux de déversement d'eau, comme on le voit sur les des-

sins. L'eau d'alimentation est versée, dans la chambre à vapeur de ce réservoir, sur une étagère où elle forme cascade; ainsi divisée au sein de la vapeur, elle se trouve mise presque instantanément en équilibre de température avec celle-ci et ses sels précipitent en poudre. Le réservoir est constamment plein d'eau jusqu'à mi-hauteur; une cloison transversale s'élevant jusqu'au niveau du liquide le partage en deux parties; c'est par jeu de déversoir que l'eau passe du premier compartiment dans le second, puis de celui-ci dans les tuyaux de descente; ces derniers n'emmènent donc à la chaudière que du liquide clarifié par une double décantation.

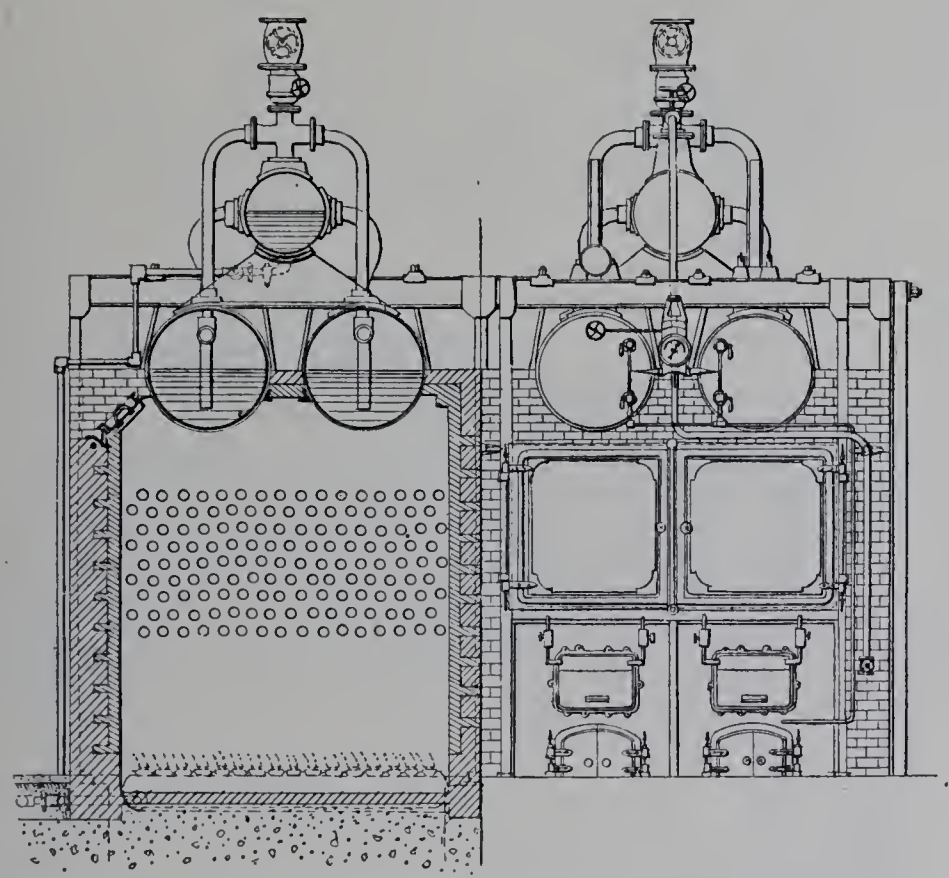


Fig. 81. — Chaudières Babcock et Wilcox de 300 mètres carrés de surface de chauffe. Coupe transversale et élévation.

Lorsque les nécessités de l'application obligent à réduire l'encombrement et le poids des appareils, la Cie FRANÇAISE BABCOCK ET WILCOX remplace le corps supérieur longitudinal par un réservoir transversal, logé dans l'espace que laisse disponible, du côté de l'extrémité la plus basse du faisceau, la différence de cote entre cette extrémité et l'autre (fig. 82). Ce réservoir transversal coiffe donc directement les collecteurs ondulés correspondant à l'extrémité inférieure des tubes. Les collecteurs ondulés de l'autre extrémité, par lesquels se dégage la vapeur, sont reliés au réservoir par deux séries de tubes de raccord sensiblement horizontaux. Ces dégagements rampants offerts à la vapeur ne sont pas de longueur excessive, parce que la longueur des tubes vaporisateurs eux-mêmes, dans ce type, est considérablement réduite par rapport au type industriel ordinaire : dans l'appareil dont la fig. 82 donne la coupe longitudinale, cette longueur ne dépasse pas $2^m 44$. Pour développer suffisamment la surface de chauffe, on substitue aux tubes vaporisateurs de 10 centimètres de diamètre des groupes de quatre

tubes de 38 millimètres seulement; chaque groupe est placé en regard d'un trou de poing. Cette substitution est rendue possible par la longueur réduite et l'inclinaison relativement forte des tubes; toutefois, elle n'a pas lieu pour les tubes du bas, qui sont

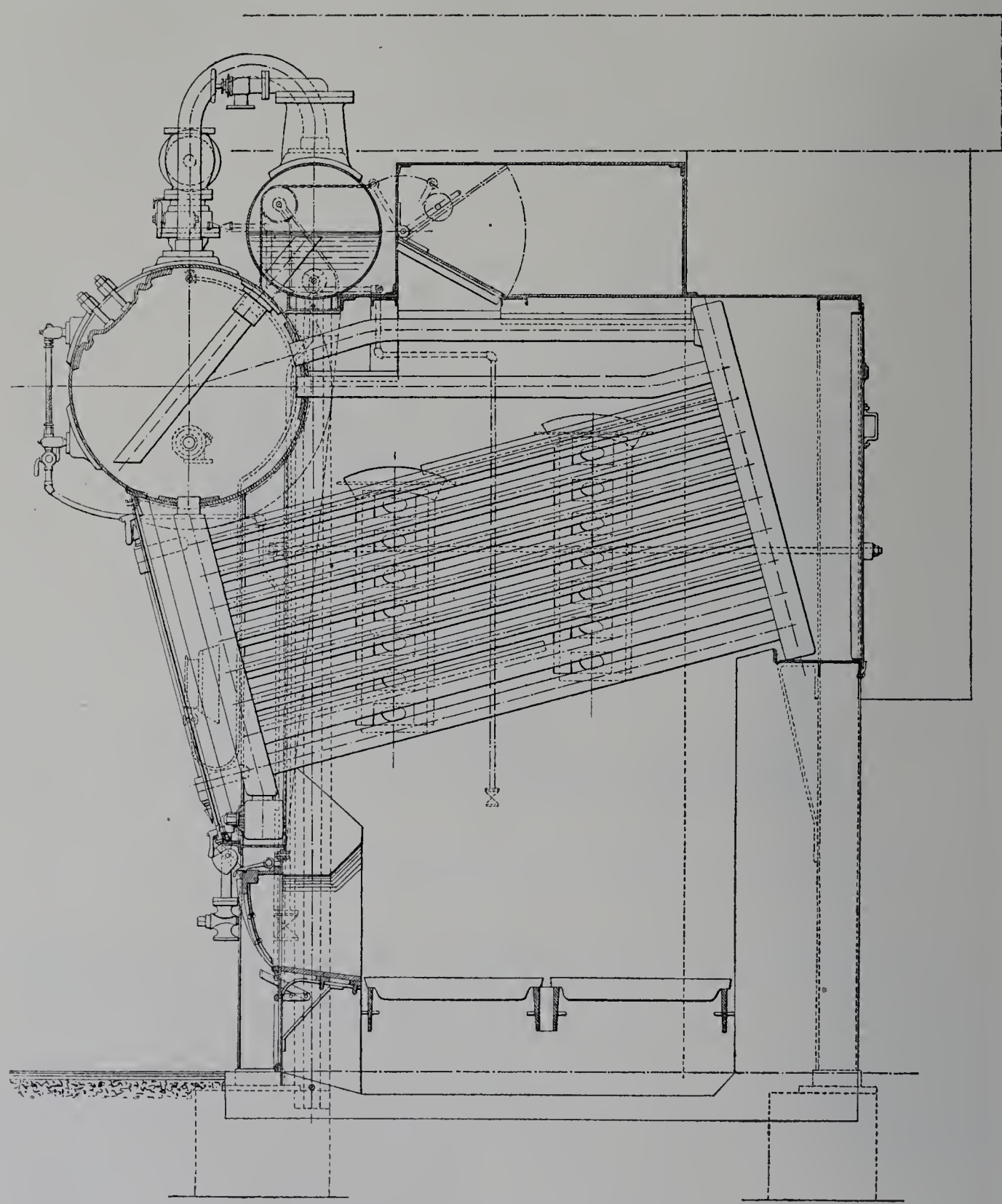


Fig. 82. — Chaudière Babcock et Wilcox à réservoir transversal.

le siège d'une vaporisation trop active pour qu'on puisse impunément réduire à ce point le rapport de la section à la surface. De plus, elle appelle une alimentation à l'eau pure.

Dans l'appareil représenté, chaque élément se compose, à compter de bas en haut,

de deux tubes de 108 millimètres et de six groupes de quatre tubes de 38 millimètres. Un ballon décanteur est disposé au-dessus du réservoir d'eau et de vapeur, afin de précipiter et de retenir les dépôts avant l'entrée du liquide dans le circuit de circulation.

Le peu de longueur du faisceau permet de placer les portes de foyer du côté de l'extrémité la plus basse. On peut ainsi laisser en vue du chauffeur le réservoir supérieur avec les appareils indicateurs du niveau de l'eau directement greffés sur lui.

C'est ainsi que sont constituées deux chaudières de 110 mètres carrés de surface de chauffe et $3^{mq}20$ de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 34\right)$ installées sous un des piliers de la tour du Champ de Mars, pour le service de cette tour.

A l'usine La Bourdonnais fonctionnent deux chaudières d'un type dérivé du précédent et étudiées spécialement en vue des applications à la marine. La surface de chauffe de chacune de ces unités s'élève à 270 mètres carrés, sa surface de grille à $7^{mq}15$ $\left(\frac{S}{G} = 38\right)$. Les éléments verticaux, au nombre de 18, comprennent chacun un tube de coup de feu à ailettes intérieures, et à quelque distance au-dessus une suite de groupes de petits tubes, diversement disposés. En outre, à droite et à gauche de l'ensemble formé par ces 18 éléments, se trouvent deux éléments extrêmes constitués différemment : leurs collecteurs ne sont ondulés que d'un côté; du côté extérieur, ils sont rectilignes et portent une succession de petits tubes superposés suivant un plan vertical et formant une sorte de paroi d'eau. Enfin le réservoir supérieur et le collecteur horizontal de dépôts sont reliés l'un à l'autre, non seulement par les vingt collecteurs verticaux de l'extrémité basse du faisceau, mais en outre par deux tubes spéciaux de retour d'eau placés à droite et à gauche.

Ces types marquent le passage entre les générateurs à gros tubes et ceux à petits tubes vaporisateurs, dont il sera question plus bas.

Chaudières Roser. — Revenons aux générateurs à tubes de $0^{m}10$ de diamètre environ. M. Nicolas Roser, de Saint-Denis (Seine), a établi à l'usine La Bourdonnais 6 chaudières (fig. 83 à 85) de 260 mètres carrés de surface de chauffe, destinées à une production totale de 20,000 kilogrammes de vapeur par heure, ce qui fait $12^{kg}8$ par mètre carré de surface de chauffe : M. Roser est partisan, pour la pratique industrielle, des taux de vaporisation modérés. Les tubes ont même section que ceux des générateurs Babcock et Wilcox (102 millimètres de diamètre intérieur) et une longueur légèrement moindre : $4^{m}60$; par contre, chaque élément en comprend 11 au lieu de 9. Dans le type Roser, les tubes d'un même élément s'étagent directement les uns au-dessus des autres : les collecteurs verticaux qui les relient ne sont donc pas ondulés, mais simplement rectilignes, ce qui rend moins complexe la fabrication de ces pièces forgées. Les trous de poing sont tous à fermeture autoclave; néanmoins ils sont pour la plupart circulaires : on ne donne la forme ovale qu'à quelques-uns, par lesquels on introduit les tampons destinés aux autres : chaque tampon circu-

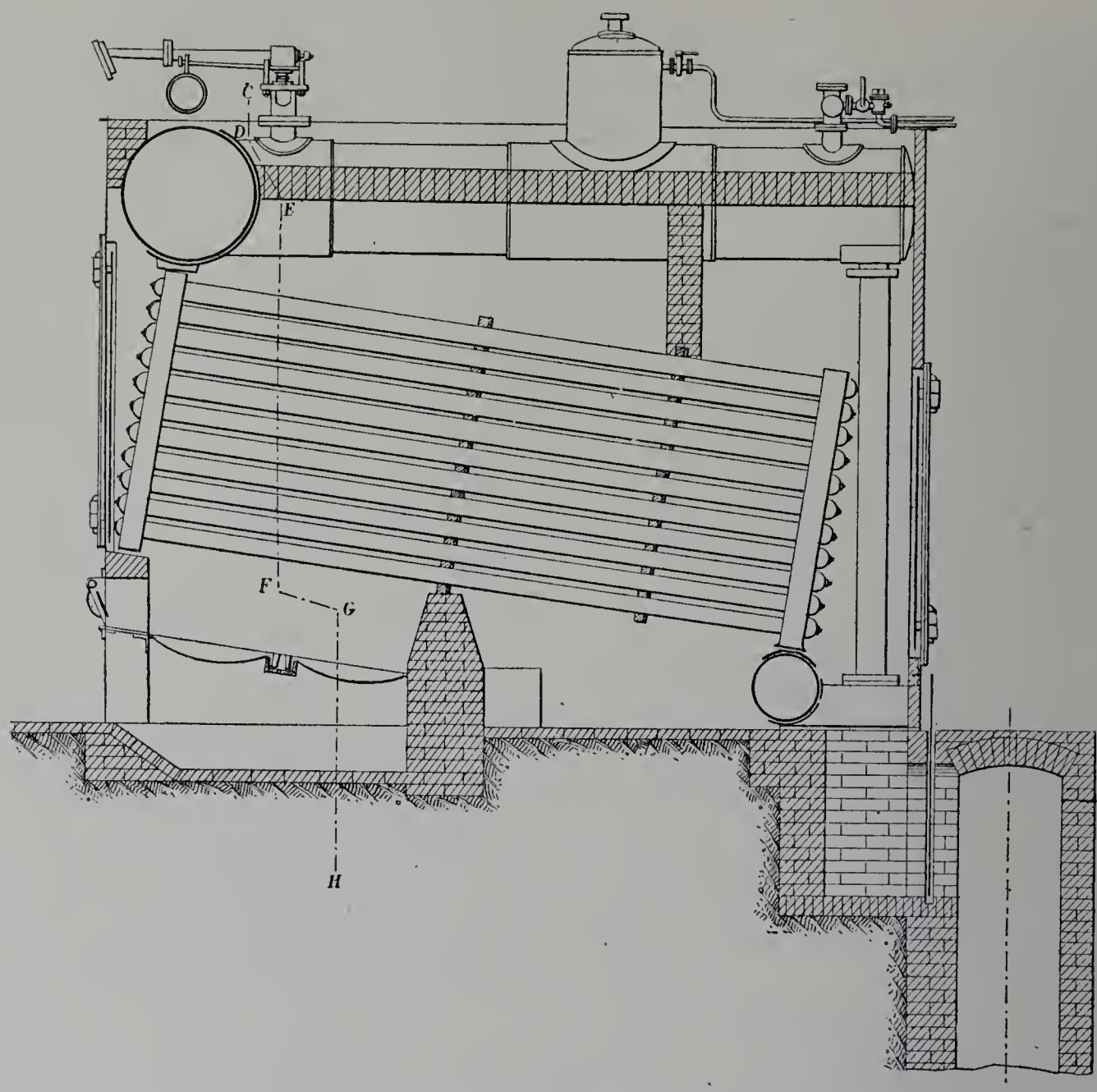


Fig. 83. — Chaudière Roser. — Coupe longitudinale.

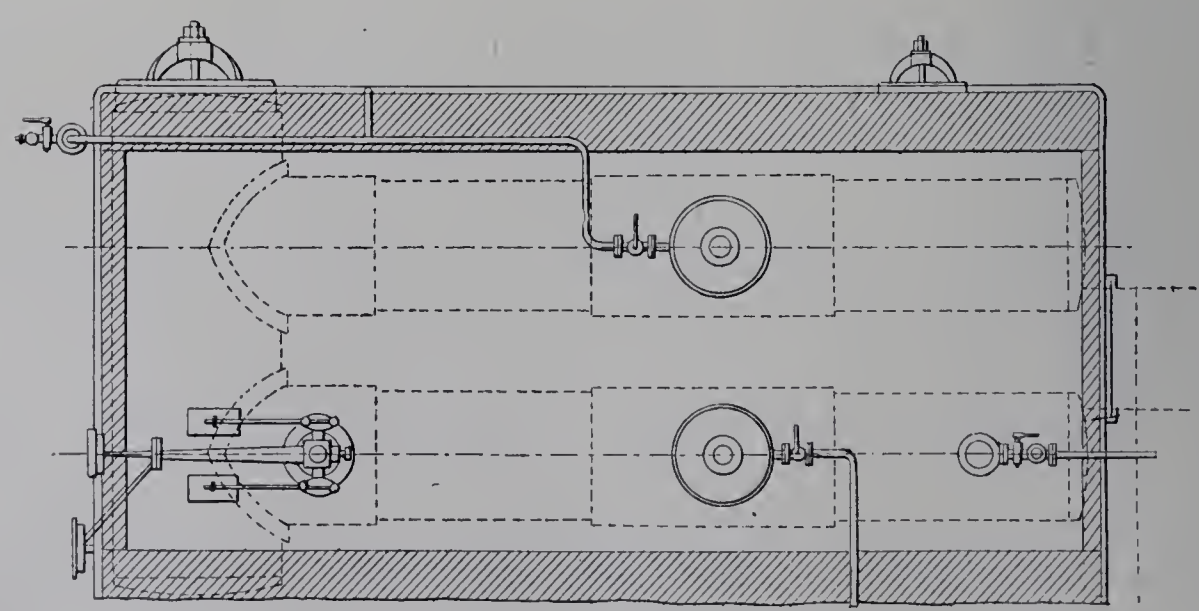


Fig. 84. — Plan.

laire, une fois introduit par un trou ovale, est amené à sa place par cheminement à l'intérieur du collecteur.

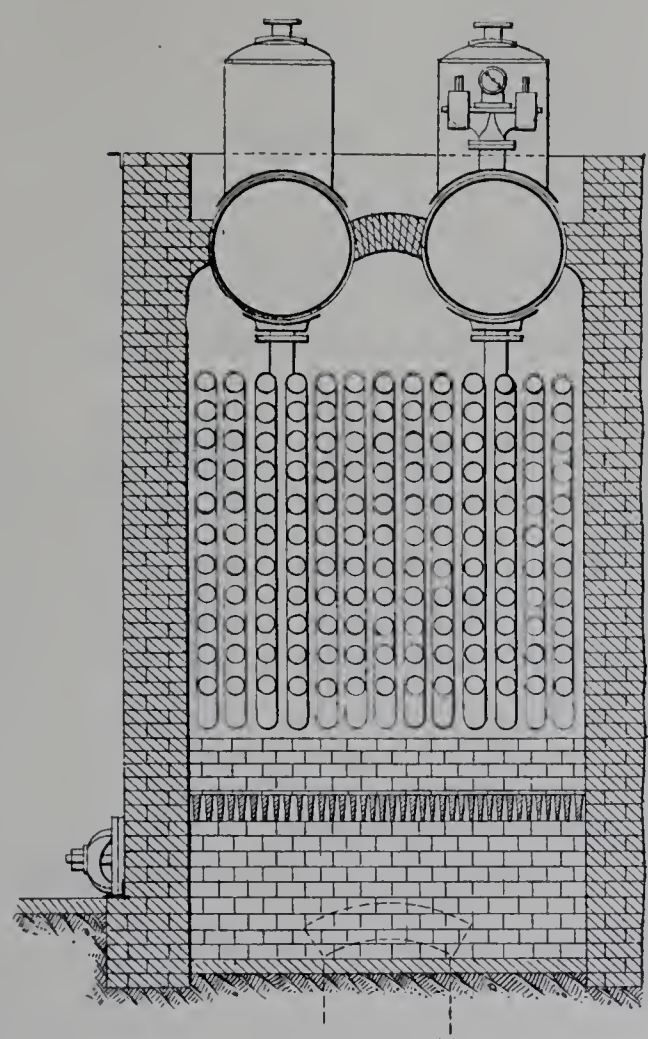


Fig. 85. — Coupe suivant C D E F G H de la fig. 83.

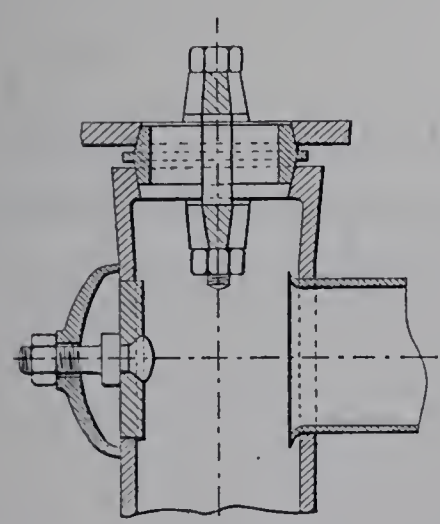


Fig. 86. — Assemblage d'un collecteur vertical *N* avec le réservoir d'eau et de vapeur.

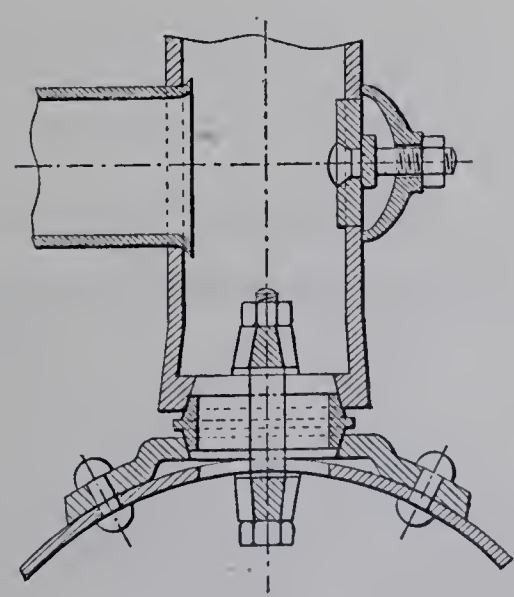


Fig. 87. — Assemblage d'un collecteur vertical *R* avec le collecteur de dépôts.

Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur, partiellement chauffé, comprend un cylindre transversal placé à l'avant et recevant, le long de sa génératrice inférieure, des tubulures

de communication avec les collecteurs verticaux de l'extrémité haute du faisceau ; à ce corps transversal sont associés un ou deux corps longitudinaux, selon la largeur de la chaudière. Dans le premier cas, l'ensemble du réservoir supérieur affecte en plan la forme d'un T; dans le second cas, la forme d'un U. Les chaudières de l'Exposition comprennent chacune 13 éléments verticaux, juxtaposés au-dessus d'un foyer à deux portes de $2^m 40$ de largeur : le réservoir, en forme d'U, se compose d'un corps transversal mesurant 1 mètre de diamètre et deux corps longitudinaux de $0^m 80$ de diamètre et 5 mètres environ de longueur. Chaque corps longitudinal est surmonté d'un dôme de prise de vapeur, suffisamment reculé vers l'arrière pour être à l'écart de la région d'ébullition vive.

Les collecteurs d'arrière ne sont pas reliés par le haut au réservoir supérieur; en vue de favoriser l'alimentation des tubes du bas, c'est le collecteur horizontal de dépôts, de $0^m 55$ de diamètre, qui est mis en communication directe avec ce réservoir par deux tuyaux de retour d'eau de 180 millimètres de diamètre extérieur. La jonction des collecteurs verticaux, soit avec le réservoir supérieur, soit avec le collecteur de dépôts, est faite par l'intermédiaire de bagues biconiques, métal sur métal, au moyen d'étriers intérieurs.

Les figures 86 et 87 montrent le principe de ces assemblages.

Le parcours du gaz est chicané par deux cloisonnements verticaux.

Chaudières à caissons collecteurs. — Les chaudières à caissons collecteurs, dans lesquelles le faisceau des tubes vaporisateurs est compris entre deux lames d'eau, sont principalement répandues dans l'Europe continentale, en Allemagne en particulier.

Trois maisons allemandes, les maisons L. et C. Steinmüller, de Gummersbach, Simonis et Lanz, de Francfort, et Petry-Dereux, de Düren, en présentent à l'état de fonctionnement dans l'usine Suffren.

Le tableau ci-après résume les données principales relatives à ces appareils :

DÉSIGNATION.		STEINMÜLLER.	SIMONIS ET LANZ.	PETRY-DEREUX.
Tubes vaporisateurs.	Diamètre extérieur	$0^m 095$	$0^m 095$	$0^m 095$
	Longueur	5 00	5 20	5 00
	Nombre de rangées superposées	12	8	11
	Nombre total	168	128	193
Largeur du faisceau		$2^m 45$	$2^m 48$	$3^m 06$
Réservoir supérieur.	Diamètre	1 30	1 30	1 60
	Longueur	6 50	6 55	6 50
Surface	de chauffe	$254^{m^2}00$	$215^{m^2}00$	$300^{m^2}00$
	de grille	5 80	5 40	6 00
$\frac{S}{G}$		44	40	49

On voit que les tubes, bien que conservant 5 mètres de longueur, sont plus étroits que ceux généralement usités en France; la cote de 95 millimètres est prise à l'extérieur et ne correspond qu'à 88 millimètres de diamètre intérieur environ. Ces tubes sont disposés en quinconce. Le corps cylindrique supérieur est de grandes dimensions. Néanmoins MM. Steinmüller le laissent entièrement en dehors du fourneau; M. Petry-Dereux l'enveloppe de maçonnerie formant calorifuge, mais le soustrait à l'action des flammes. Dans l'appareil de MM. Simonis et Lanz, il est partiellement chauffé.

Des mesures diverses sont prises par ces constructeurs en vue d'assurer, soit la séparation de la vapeur et de l'eau, soit la circulation du liquide.

Steinmüller. — Dans le système Steinmüller (fig. 88 et 89), la tubulure à section rectangulaire par laquelle le caisson d'avant communique avec le réservoir supérieur est coiffée d'un coffre présentant deux issues, l'une en bas, à petite hauteur au-dessus de la génératrice inférieure du réservoir, l'autre en haut, un peu au-dessus du niveau de l'eau. L'issue inférieure est constituée par un tuyau à section circulaire, qui court d'avant en arrière, en s'abaissant légèrement, et débouche tout contre la tubulure de communication du réservoir supérieur avec la lame d'eau d'arrière. L'issue du haut est constituée aussi par un long conduit horizontal dirigé d'avant en arrière, mais ce conduit n'est pas un tuyau rond. Sa section est rectangulaire, de médiocre hauteur, mais d'une largeur presque égale à celle du corps cylindrique, de sorte que ce conduit a la forme d'une longue caisse plate. Sa face inférieure est percée de trous.

Le tuyau du bas offre au liquide un chemin qui permet au circuit de circulation de se fermer par le réservoir supérieur sans que l'ensemble de la masse d'eau contenue dans le réservoir participe au mouvement canalisé par ce tuyau. Le conduit du haut sert au dégagement de la vapeur. Si celle-ci, comme il faut le prévoir, entraîne avec elle une certaine quantité d'eau jusqu'au niveau de ce second débouché, cette eau s'étale sur la face inférieure du conduit et s'écoule par les trous; elle forme sur cette espèce de passoire une nappe d'épaisseur décroissante, qui s'étend plus ou moins loin suivant que l'afflux liquide est plus ou moins abondant, et qui offre à la vapeur, pour se dégager, une surface d'ébullition étendue. En outre, la prise de vapeur est faite à la partie supérieure du réservoir au moyen d'un tuyau Crampton.

Le niveau liquide, dans le réservoir, n'est le siège d'aucune ébullition. L'eau d'alimentation y est envoyée près de l'extrémité antérieure, et l'ensemble de la masse liquide contenue dans le réservoir n'a d'autre mouvement que celui qui correspond à la rentrée, dans le circuit général, de l'eau rendue par la passoire et de l'eau d'alimentation.

Le réservoir restant en communication avec la lame d'eau d'arrière par une grosse tubulure descendante qui part de sa génératrice inférieure, le faisceau tubulaire ne pourrait manquer d'eau sans que le réservoir eût commencé par se vider d'eau complètement: on n'a donc pas à craindre que la présence du coffre surmontant le caisson d'avant puisse induire le chauffeur en erreur dans la consultation des appareils indicateurs du niveau de l'eau, directement greffés à l'avant du corps cylindrique.

Fig. 88. — Chaudière Steinmüller. — Coupe longitudinale.

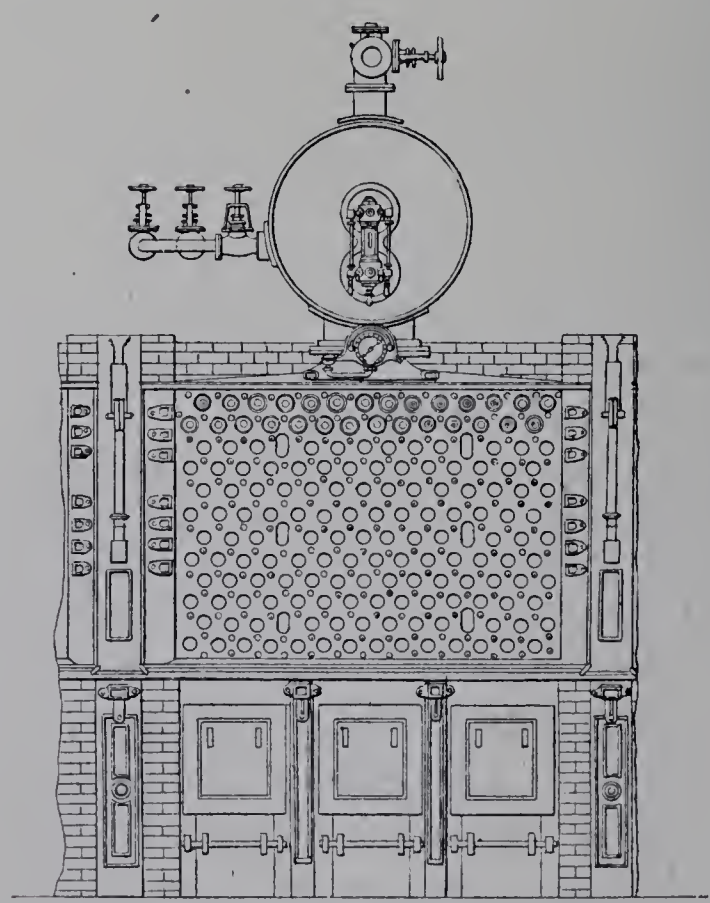


Fig. 89. — Chaudière Steinmüller. — Elévation.

Simonis et Lanz. — Dans le générateur de MM. Simonis et Lanz (fig. 90), le débouché de la tubulure du caisson d'avant dans le réservoir est surmonté d'un émulseur en vue d'activer la circulation du liquide dans l'ensemble de l'appareil. Cet émulseur ne se compose pas d'un jeu de petits tuyaux distincts les uns des autres comme dans le système de M. Dubiau : c'est une allonge verticale prolongeant la tubulure jusqu'un peu au-dessus du niveau statique de l'eau, et dont l'intérieur est cloisonné par des tôles ondulées placées verticalement : ces tôles divisent l'allonge en une série de canaux verticaux étroits. La section individuelle de ces canaux étant de l'ordre de petitesse des bulles de vapeur, ces bulles sont obligées de pousser devant elles, en montant, tout le liquide qui les sépare successivement les unes des autres.

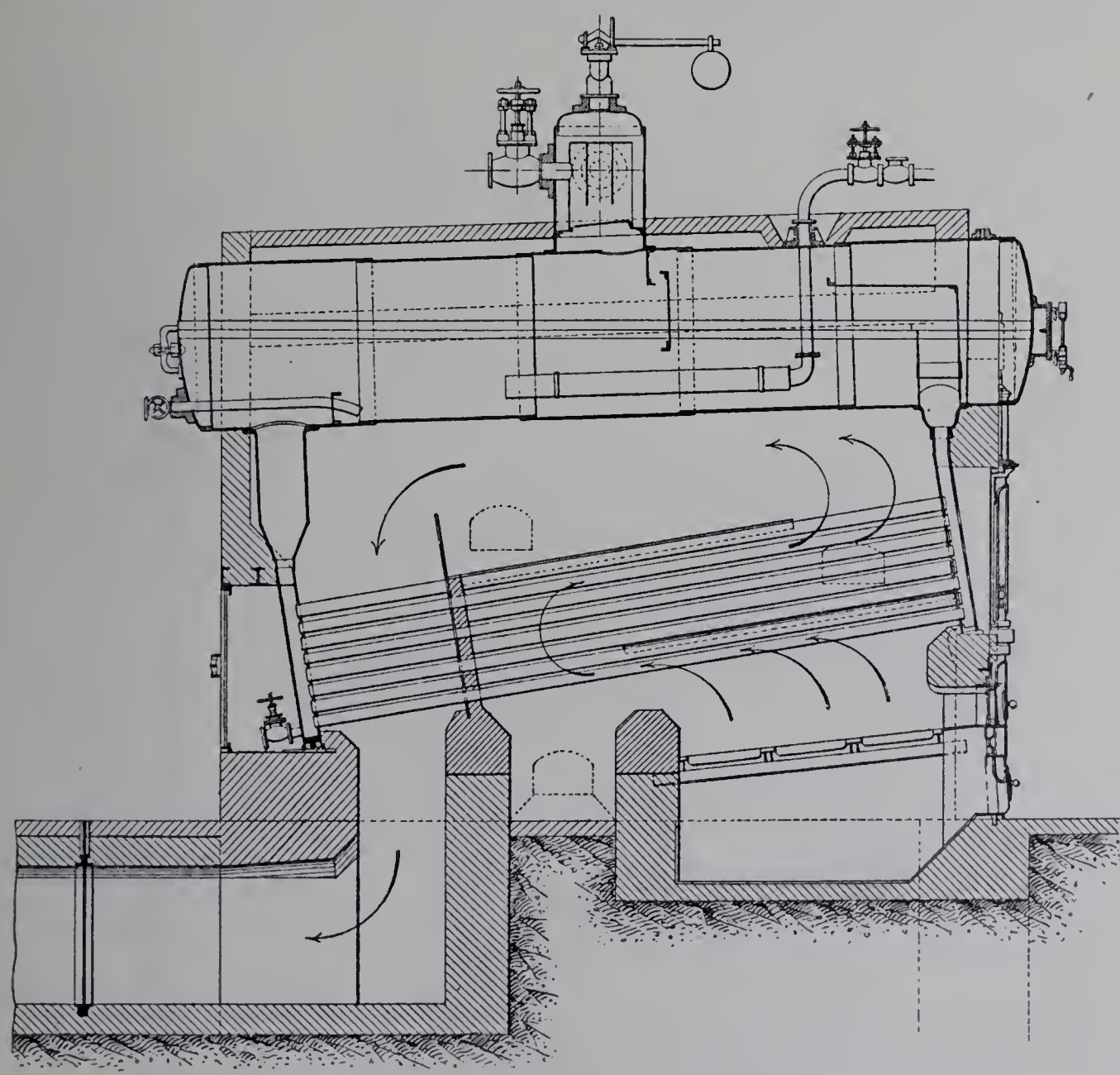


Fig. 90. — Chaudière Simonis et Lanz.

Le flux mélangé de vapeur et d'eau, que cet appareil de circulation fait jaillir au-dessus du niveau du liquide dans le réservoir supérieur, est ensuite dirigé horizontalement vers l'arrière du réservoir, par une tôle formant visière au-dessus de l'émulseur : un peu plus loin se trouvent des tôles verticales en manière d'écran pour retenir et

égoutter l'eau avant que la vapeur parvienne à la base du dôme de prise de vapeur. Enfin, dans ce dernier, est disposé un système de cloisons formant chicanes.

Les bouchons autoclaves dont sont munis les trous de poing de ce générateur sont circulaires, et cependant on les introduit comme s'ils étaient elliptiques, chacun dans son orifice. A cet effet, le tampon est à siège conique; aux extrémités d'un certain diamètre, sa face externe est taillée en biseau, ce qui réduit, suivant cette direction, l'épaisseur de la paroi conique et par conséquent le diamètre maximum. De son côté, le trou circulaire, alésé coniquement, offre suivant un diamètre une ouverture légèrement agrandie, la surface conique étant recoupée suivant cette direction, sur une fraction de son épaisseur, par une surface cylindrique. En mettant ces diamètres en coïncidence, l'introduction est possible; on fait ensuite tourner le tampon d'un quart de tour.

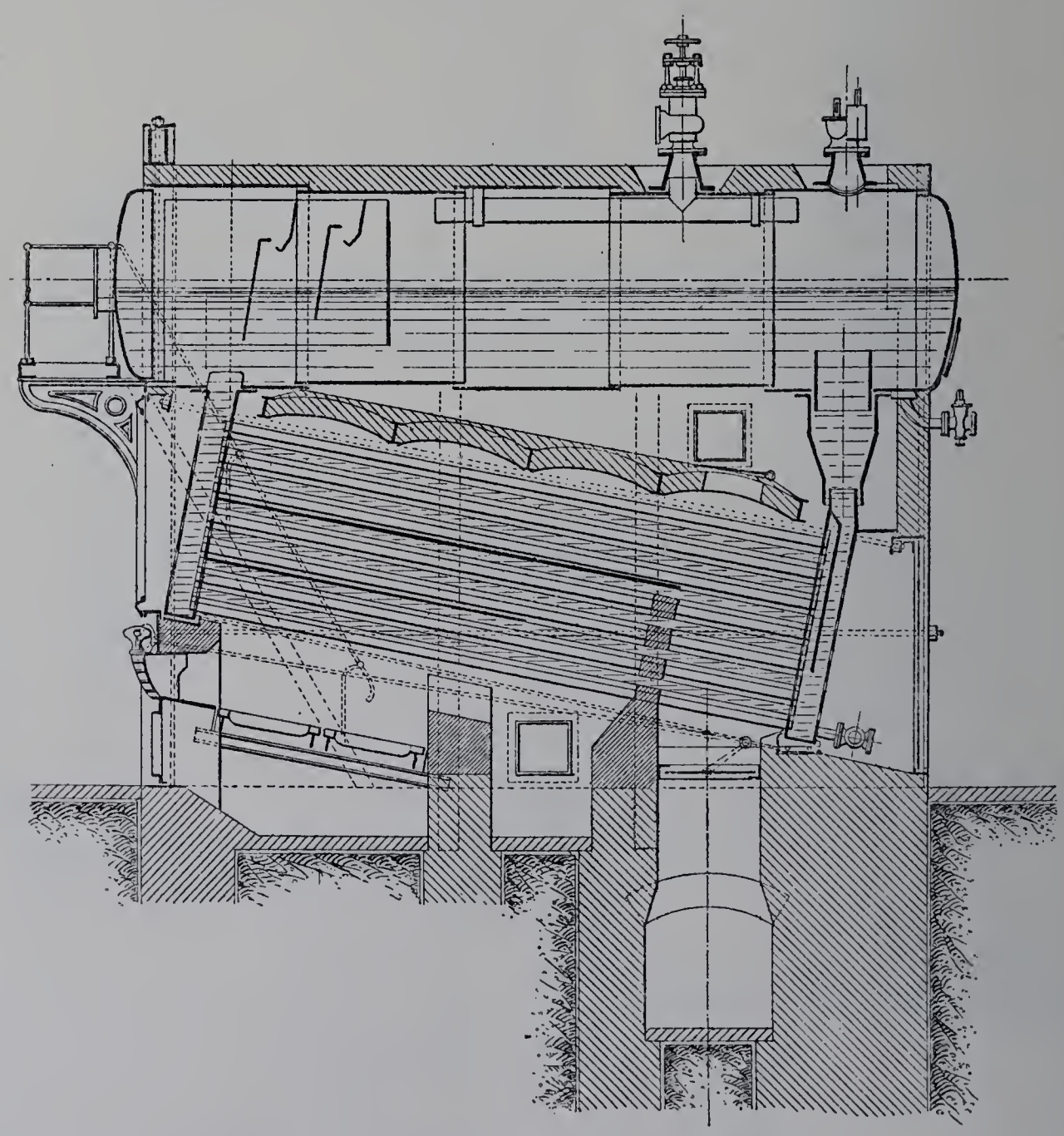


Fig 91. — Chaudière Petry-Dereux. — Coupe longitudinale.

Petry-Dereux. — La chaudière de M. Petry-Dereux (fig. 91 à 93), dégage sa vapeur au sommet de son collecteur d'avant, sous un coffre à chicanes. Une disposition

particulière de ce générateur est le partage de la lame d'eau de l'arrière par une cloison, obligeant l'eau qui vient du réservoir supérieur à descendre d'abord jusqu'en face des rangées de tubes les plus voisines de la grille, comme s'il y avait des tuyaux de retour

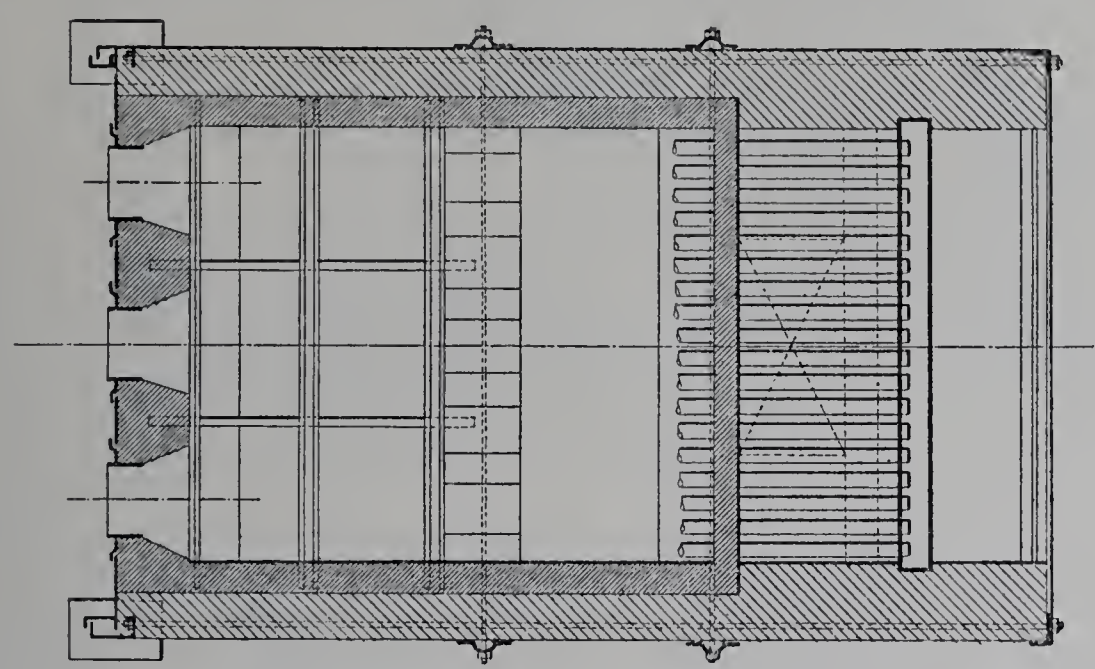


Fig. 92. — Chaudière Petry-Dereux. Coupe horizontale.

d'eau séparés. Cette cloison est amovible par parties; sans quoi elle empêcherait les nettoyages et les remplacements des tubes.

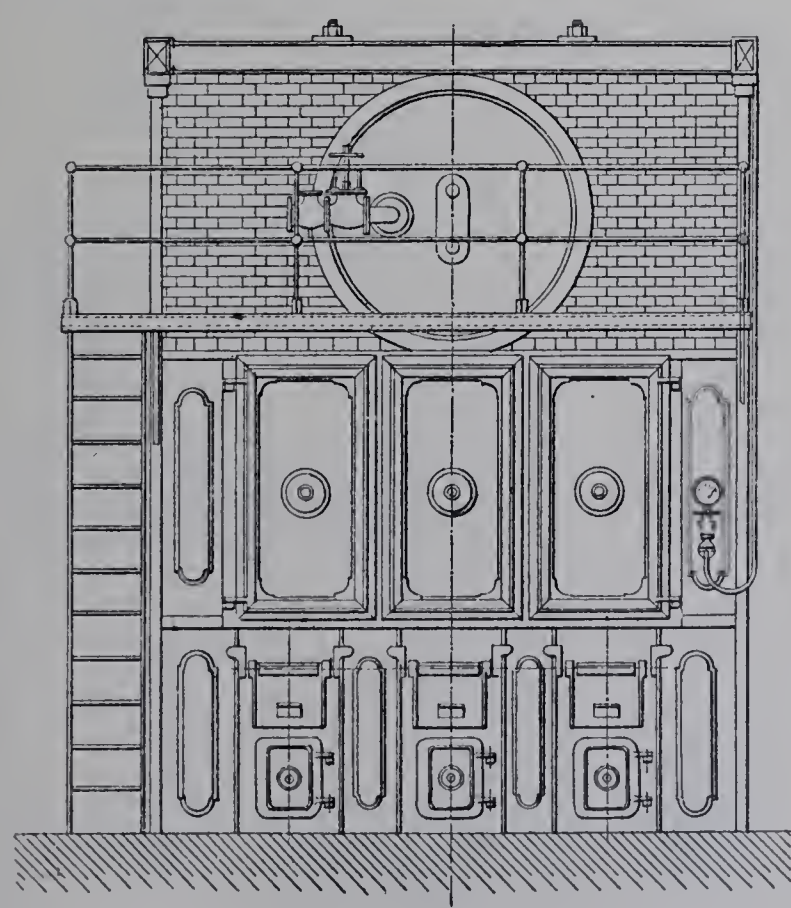


Fig. 93. — Élévation.

Chaudières à tubes d'eau Fitzner et Gamper. — La Société russe Fitzner et Gamper présente deux générateurs à lames d'eau, l'un en fonctionnement comme les précédents à l'usine Suffren et représenté par les figures 94 et 95, l'autre à l'état d'inactivité.

IMPRIMERIE NATIONALE.

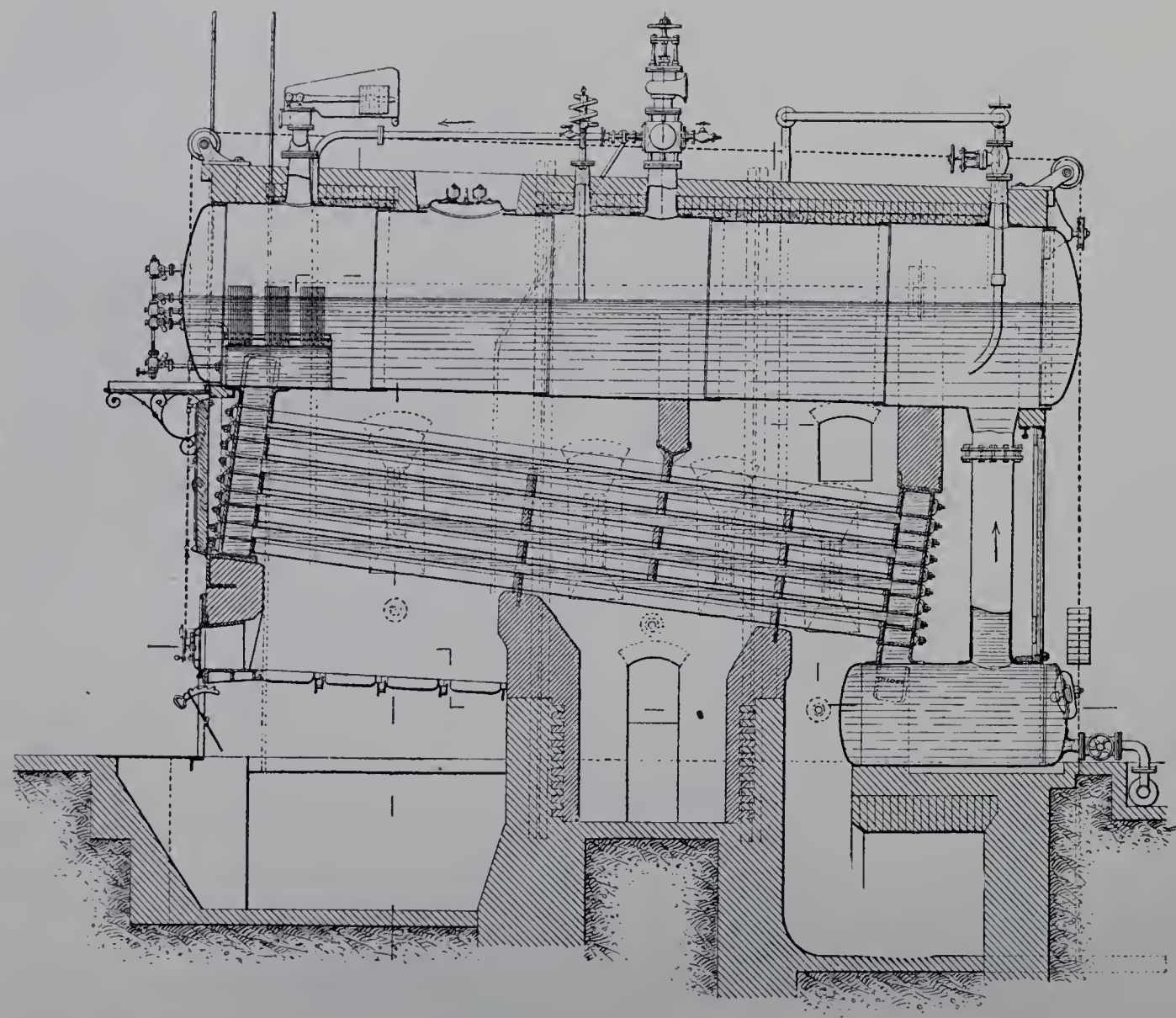


Fig. 94. — Chaudière à tubes d'eau Fitzner et Gamper. Coupe longitudinale.

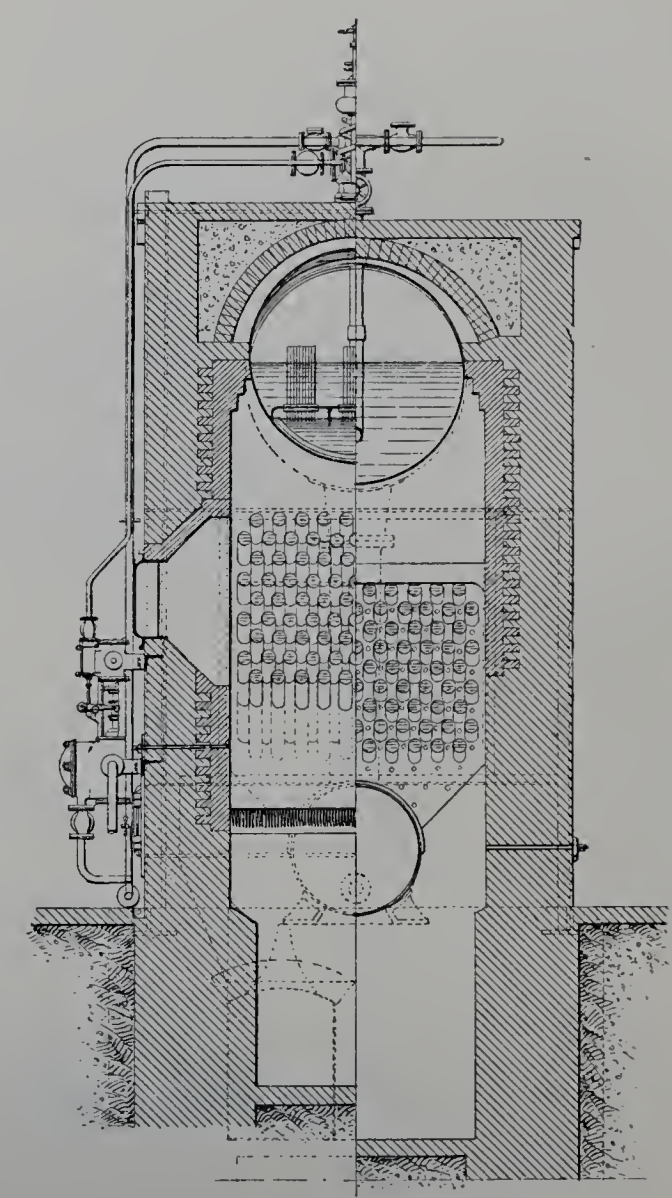


Fig. 95. — Chaudière à tubes d'eau Fitzner et Gamper. — Coupes transversales.

Celle-ci est munie d'un foyer à mazout et d'un surchauffeur, dont il sera parlé plus bas. En ce qui touche la chaudière proprement dite, les deux appareils sont de construction analogue, l'un de 150 mètres carrés, l'autre de 120 mètres carrés de surface de chauffe. La longueur des tubes est, comme dans les systèmes précédemment décrits, de 5 mètres environ. Les lames d'eau mesurent 20 centimètres d'épaisseur. Le débouché de celle d'avant dans le corps cylindrique supérieur est muni d'un jeu d'émulseurs Dubiau. Le retour d'eau est assuré, à l'arrière, par un gros tuyau vertical descendant jusqu'au collecteur de dépôts, qui est constitué d'une manière toute spéciale, par un réservoir cylindrique de $0^{m}80$ de diamètre et $1^{m}60$ de longueur, orienté parallèlement au corps supérieur. Sur ce gros ballon est rivé le caisson d'arrière, dont la partie inférieure va se rétrécissant de manière à former une tubulure appropriée à la forme du ballon. Le corps supérieur est de grand diamètre ($1^{m}45$ pour le générateur de 150^{mq}) et partiellement chauffé.

C'est par des cloisons verticales, au nombre de trois, qu'est chicané le parcours des gaz.

Type Büttner, construit par MM. Biétrix. — Dans la section française, deux exposants présentent des chaudières à lames d'eau : MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie, de Saint-Étienne, et la Société des générateurs Mathot, de Rœux-lès-Arras.

MM. Biétrix sont les constructeurs, en France, d'un type venu d'Allemagne, le type Büttner. L'ensemble en est représenté par les figures 96 et 97 : on y retrouve les dispositions générales et les proportions qui ont cours dans les pays allemands pour cette classe d'appareils. Le système comporte, à l'intérieur du corps cylindrique, un arrangement spécial imaginé en vue d'assurer la séparation de la vapeur et de régulariser le mouvement de l'eau. Le débouché du caisson d'avant est coiffé d'un conduit qui, orienté d'abord en prolongement du caisson, se recourbe horizontalement, court d'avant en arrière, puis se raccorde par une nouvelle courbe avec la tubulure descendante établissant la communication entre le corps supérieur et la lame d'eau de l'arrière. Dans sa partie horizontale, ce conduit est d'assez grande largeur et ouvert par le haut; il émerge au-dessus de la masse d'eau contenue dans le corps cylindrique. A l'arrière, là où il aboutit sur la tubulure de retour d'eau, il est percé de fenêtres.

Le dégagement de la vapeur s'opère en tête de la partie découverte du conduit et au besoin plus ou moins loin le long de cette partie découverte, pendant que l'eau, amenée par la circulation, court dans le conduit. Arrivée à l'arrière, cette eau se trouve versée à nouveau dans le circuit de circulation; les fenêtres dont le conduit est percé à son extrémité d'arrière permettent d'ailleurs l'introduction, dans ce circuit, d'un poids d'eau nouveau égal à celui de la vapeur formée.

Le générateur en fonctionnement à l'usine La Bourdonnais offre 160 mètres carrés de surface de chauffe et $4^{mq}50$ de surface de grille. Ce modèle est calculé pour une production de 2,800 kilogrammes de vapeur par heure. Le volume de liquide normalement contenu dans l'appareil est de $8^{mc}250$, soit environ trois fois le volume vaporisé en une heure.

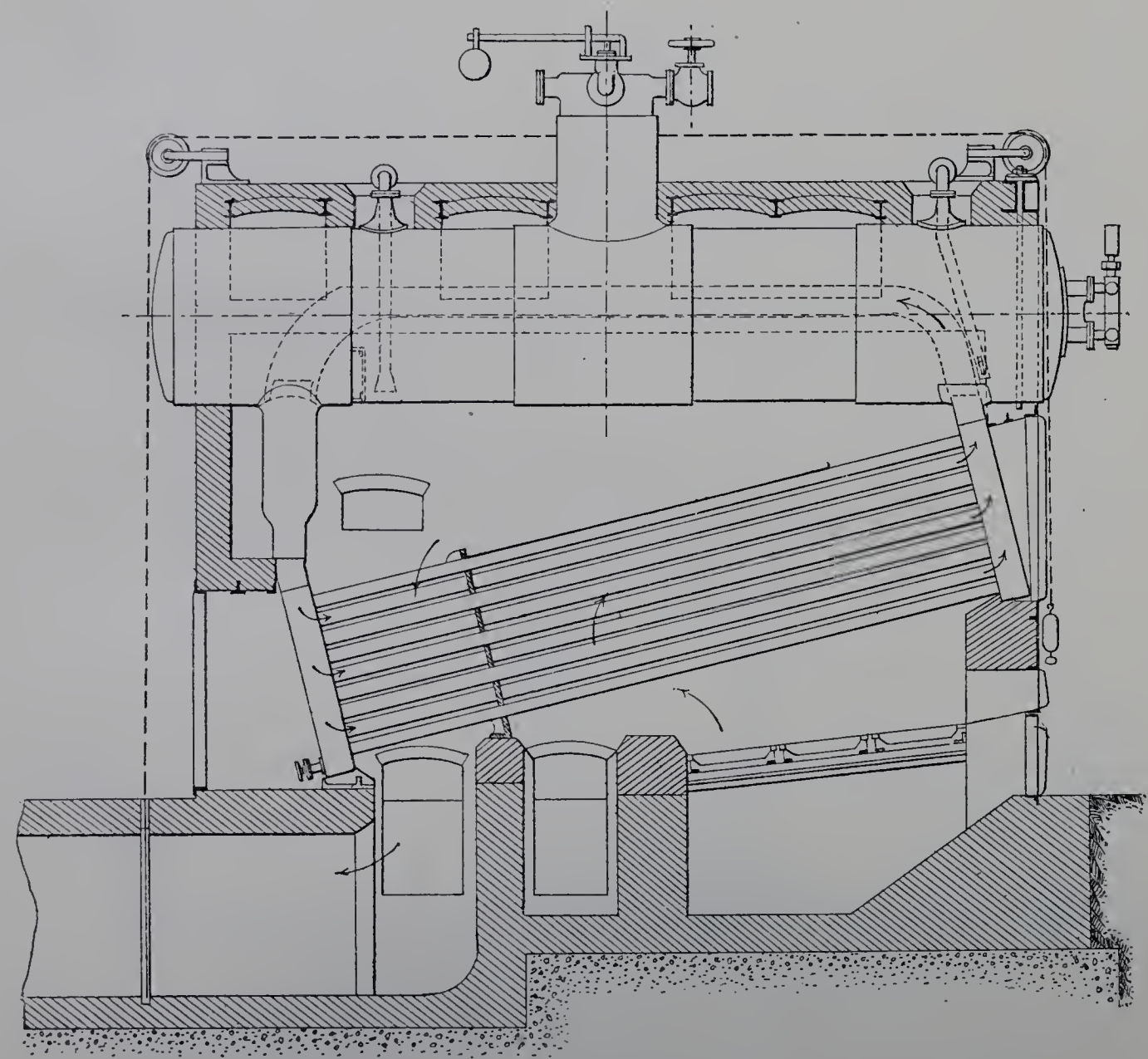


Fig. 96. — Chaudière Büttner. (Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.) Coupe longitudinale.

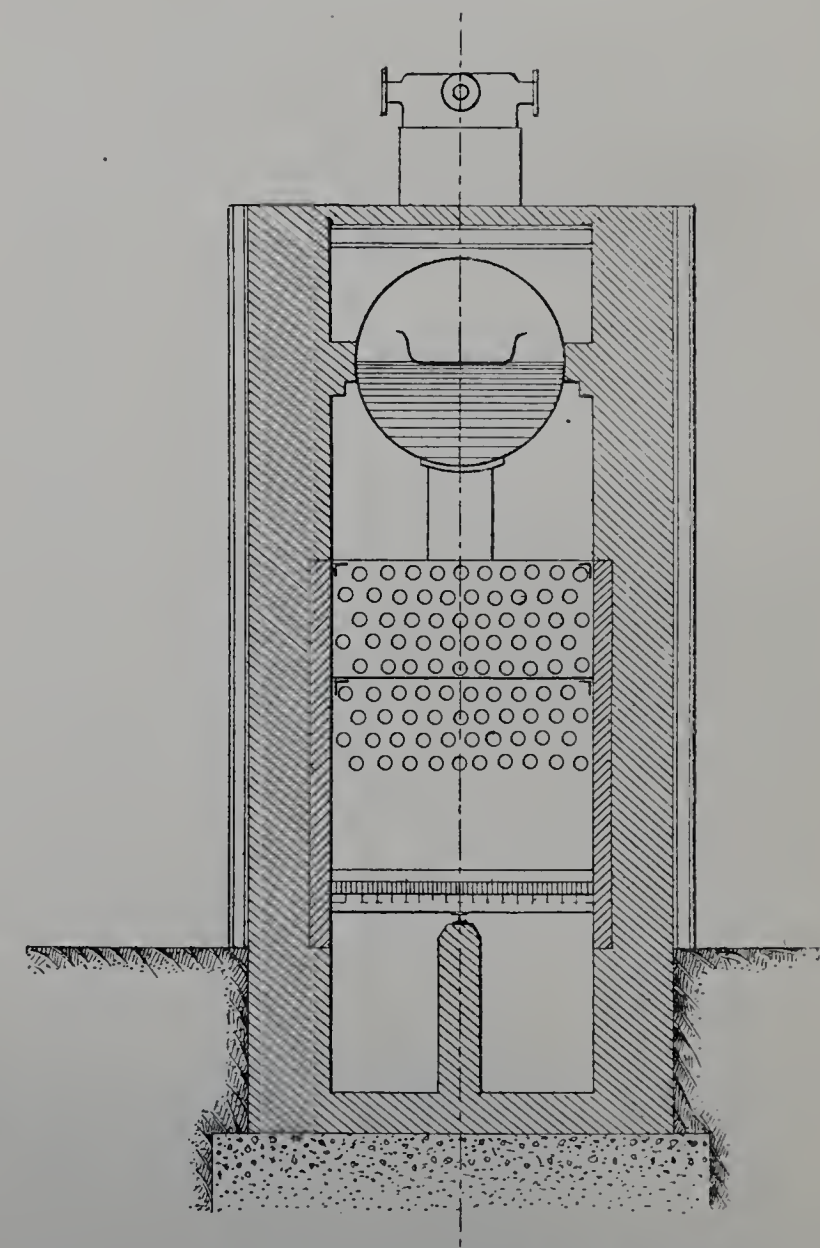


Fig. 97. — Chaudière Büttner. (Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.) Coupe transversale.

Chaudière Mathot. — La Société des générateurs Mathot construit des chaudières à lames d'eau (fig. 98) dont elle présente sept exemplaires en service : quatre à l'usine La Bourdonnais et trois à l'usine Suffren. Le constructeur a varié à dessein les dimensions, afin de montrer la souplesse du système : les appareils sont de trois modèles, offrant respectivement 350 mètres carrés, 170 mètres carrés et 54 mètres carrés de surface de chauffe.

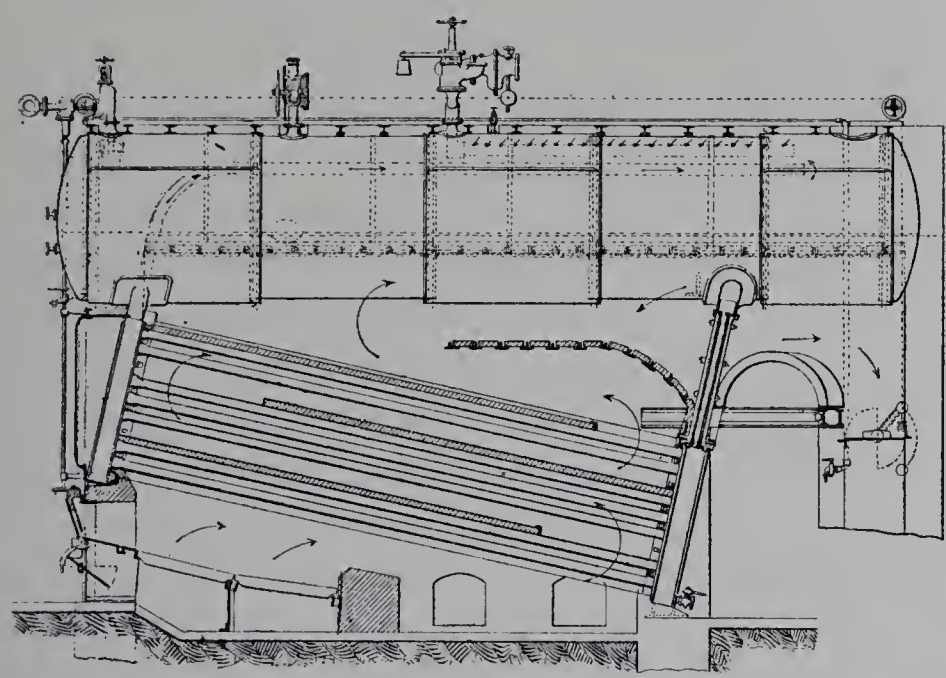


Fig. 98. — Chaudière Mathot.

Le plus grand modèle ne comprend pas moins de 224 tubes vaporisateurs de 9 centimètres de diamètre et 5 mètres de longueur, formant 8 rangées superposées de 28 tubes chacune.

Le faisceau prend ainsi une largeur considérable, $4^{m}40$; il en est de même de la grille, desservie par 4 portes de chargement. Le corps cylindrique, de $1^{m}60$ de diamètre et 7 mètres de longueur, communique avec le caisson d'avant par un piétement mesurant $1^{m}15$ d'étendue horizontale parallèlement à la façade, et avec le caisson d'arrière par un jeu de 7 tubes de raccord. Pour la séparation de la vapeur et de l'eau, le débouché du piétement de l'avant dans le corps supérieur est coiffé d'un coffrage s'infléchissant en un conduit plat qui s'étend jusqu'à une assez grande distance vers l'arrière.

Le plus petit modèle ne comporte que 26 tubes vaporisateurs répartis en 4 rangées, avec un corps supérieur de $0^{m}80$ de diamètre et $5^{m}50$ de longueur, relié par trois tubes de raccord à la lame d'eau Æ.

Générateurs de Naeyer. — Le système des collecteurs juxtaposés divise le faisceau tubulaire en tranches verticales étroites, tandis que celui des lames d'eau en fait un tout sans division. Ce n'est pas seulement suivant des plans verticaux que l'ensemble des tubes peut être partagé en groupes formant chacun un élément.

Dans les générateurs DE NAEYER, tels qu'ils ont été construits pendant longtemps, les éléments indivisibles consistent en groupes de deux tubes. Les tubes sont reliés deux par deux, à chacune de leurs extrémités, par une boîte rectangulaire dans laquelle ils sont sertis et qui présente en face de chacun d'eux un trou de poing circulaire : la figure 99 donne l'élévation d'une de ces boîtes, dont la coupe horizontale, à plus petite échelle, est visible sur la figure 101. L'élément se place à plat, c'est-à-dire les deux tubes l'un à côté de l'autre. Chaque rangée horizontale du faisceau se compose d'un certain nombre d'éléments juxtaposés. Les rangées successives sont empilées les unes sur les autres, avec un léger report alternatif vers la droite et vers la gauche, de manière à donner à l'ensemble des tubes la disposition en quinconce. Puis, tant à l'avant qu'à l'arrière, chaque boîte est mise en communication avec celle qui la surmonte, au moyen d'un pot double (fig. 100), par l'intermédiaire de deux bagues biconiques, serrées chacune entre l'un des orifices du pot et l'un des trous de poing de la boîte correspondante. Les assemblages sont tenus par des boulons à ancre agrafés sur les boîtes suivant la disposition représentée par les figures 101 et 102.

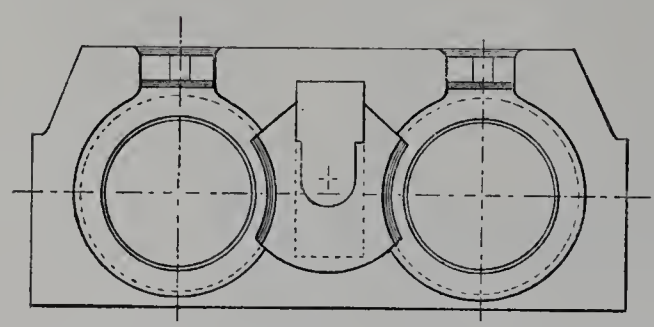


Fig. 99. — Système de Naeyer. Boîte d'élément.

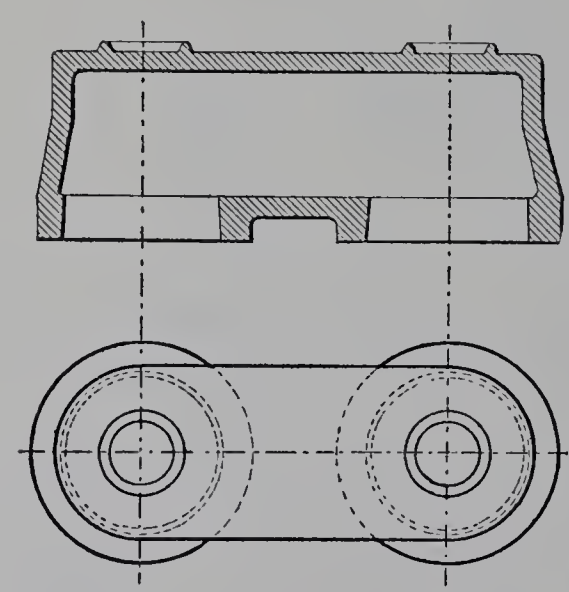


Fig. 100. — Système de Naeyer. — Pot double faisant communiquer deux éléments.

La rangée du bas est mise en communication, de façon analogue, avec un collecteur horizontal placé à l'arrière, et la rangée du haut avec un autre collecteur horizontal placé à l'avant et fixé sous le réservoir supérieur d'eau et de vapeur. De celui-ci au collecteur du bas, le retour de l'eau est assuré par des tuyaux extérieurs.

Sous le rapport des chemins offerts à la vapeur et à l'eau, on a ainsi l'équivalent d'un faisceau vaporisateur partagé en un certain nombre d'éléments verticaux doubles et ondulés; seulement chaque collecteur vertical est ici représenté par une succession complexe de boîtes et de pots, avec assemblages par boulons à ancre.

Les dix générateurs, de 215 mètres carrés de surface de chauffe, que MM. DE NAEYER ET Cie présentent en fonctionnement dans les deux usines Suffren et La Bourdonnais, réalisent en partie une disposition nouvelle et différente (fig. 103 et 104). Les deux rangées inférieures de tubes forment un seul élément, connecté à chaque bout par un collecteur horizontal à section rectangulaire.

Du côté arrière, ce collecteur est en relation, à ses deux extrémités, avec les tuyaux de retour d'eau venant du corps supérieur; à l'avant, il est mis en communication

directe avec le corps supérieur par deux tuyaux de dégagement spéciaux. Cet élément horizontal, où la production de vapeur par unité de surface de chauffe est beaucoup plus active que dans le reste du faisceau, fonctionne ainsi par ses moyens propres. Il est totalement indépendant du reste pour le dégagement de la vapeur.

Les deux rangées inférieures ainsi groupées comprennent ensemble 28 tubes mesurant 10 centimètres de diamètre extérieur et 9 centimètres de diamètre intérieur.

Quant au reste du faisceau, composé de 10 rangées comprenant chacune 14 tubes de 0^m 12 de diamètre extérieur, il conserve encore la disposition décrite en premier lieu; toutefois un détail intéressant à noter est que chaque boulon à ancre, une fois agrafé sur la boîte correspondante par la pénétration de sa tête carrée dans un logement à coulisse, y est assujetti par l'addition d'une plaquette de garde, de manière à rendre impossible le mouvement de dégagement, inverse du mouvement d'entrée.

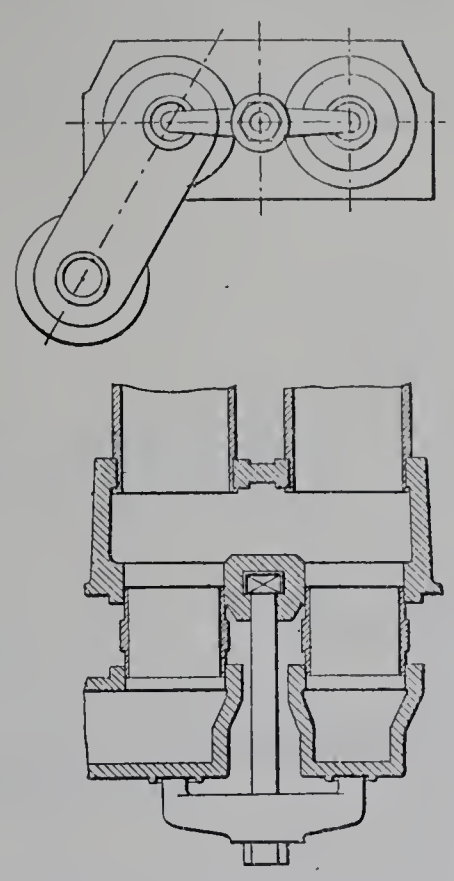


Fig. 101. — Système de Naeyer. Assemblage des pots sur les boîtes.

Mais l'Exposition a trouvé, pour ainsi dire, la maison de Naeyer à une époque de transition. Le type nouveau, maintenant adopté par les ateliers de Willebroeck, comporte, au-dessus de l'élément horizontal constitué par les deux rangées de coup de feu, un jeu d'éléments verticaux. Chacun de ces éléments comprend un certain nombre de tubes superposés suivant un même plan et reliés, à chacune de leurs extrémités, par un collecteur droit. Ces collecteurs sont juxtaposés de manière que les tubes d'un même rang se trouvent placés un peu plus haut pour les éléments pairs que pour les éléments impairs, ce qui assure, malgré le tracé rectiligne des collecteurs, la disposition en quinconce.

A l'arrière, ces collecteurs verticaux sont en communication, par bagues biconiques, avec le collecteur horizontal inférieur sur lequel ils sont montés. Les collecteurs verticaux d'avant sont reliés, à leur extrémité supérieure, par un collecteur horizontal en communication avec le réservoir supérieur d'eau et de vapeur. Tous les trous de poing sont à fermeture autoclave.

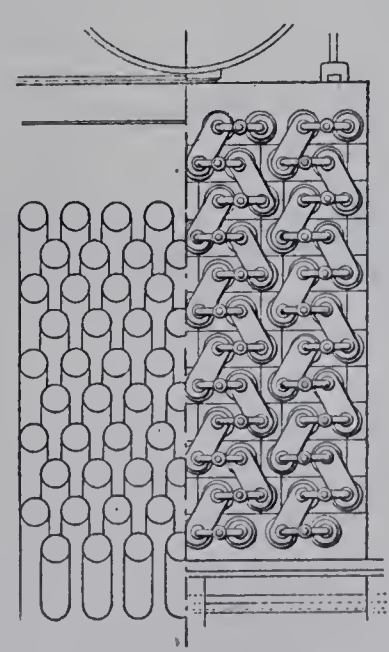


Fig. 102. — Système de Naeyer. Demi-coupe et demi-élévation d'un faisceau vaporisateur (disposition ancienne).

Les chaudières de Naeyer de l'Exposition sont munies de réchauffeurs placés à l'arrière et constitués, ainsi qu'on le voit sur la fig. 103, par des faisceaux tubulaires analogues, comme construction, aux faisceaux vaporisateurs.

Système Schuchow, construit par M. Bary. — Un mode original de groupement des tubes, étudié notamment en vue de constituer des appareils transportables par parties, caractérise le système Schuchow, exposé par M. Bary, de Moscou. Dans le générateur à tubes d'eau présenté par ce constructeur (fig. 105 à 107), chaque élément indivisible se compose de 19 tubes ainsi disposés : 1 au centre, 6 rangés en hexagone

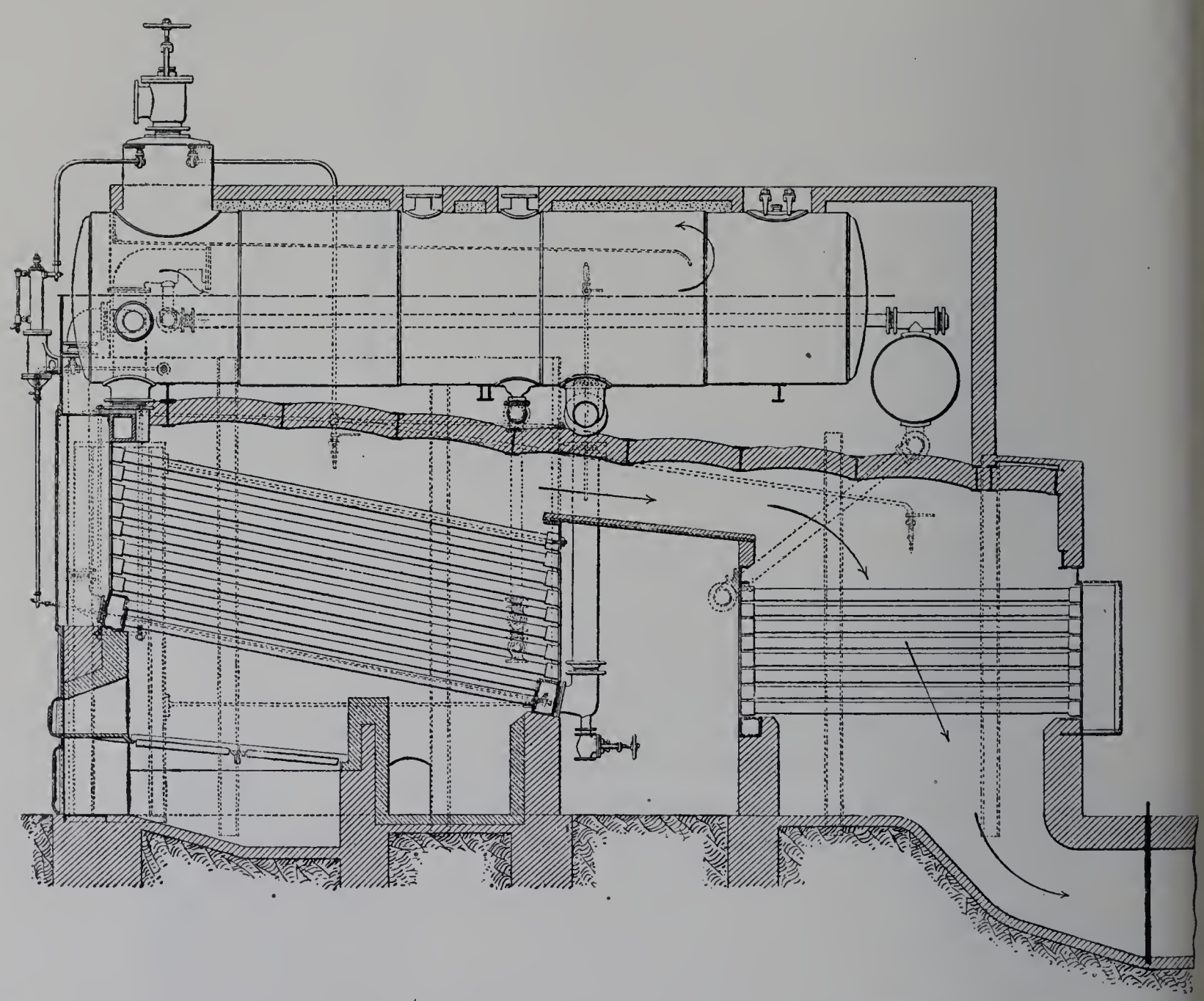


Fig. 103. — Chaudière de Naeyer avec réchauffeur. Coupe longitudinale.

autour du premier, 12 dessinant un second hexagone concentrique. Ces 19 tubes sont reliés, à chacune de leurs extrémités, par une caisse cylindrique qui leur est co-axiale et qui mesure 0^m65 de diamètre et 0^m60 de longueur. L'un des fonds de la caisse forme plaque tubulaire : les tubes y sont sertis; sur l'autre fond est un trou de visite à fermeture autoclave, qui en occupe presque toute l'étendue. Ces éléments se superposent au nombre de deux ou de trois.

La jonction de chaque caisse avec celle qui lui est superposée est obtenue de la ma-

mière suivante : les parois des deux caisses présentent, en regard l'une de l'autre, deux ouvertures à pourtour embouti, qui s'appliquent exactement et forment brides intérieures. Comme les trous de visite des caisses rendent accessible l'intérieur de celles-ci, ces brides sont assemblées par un joint boulonné, qui se trouve soustrait au contact des gaz du foyer.

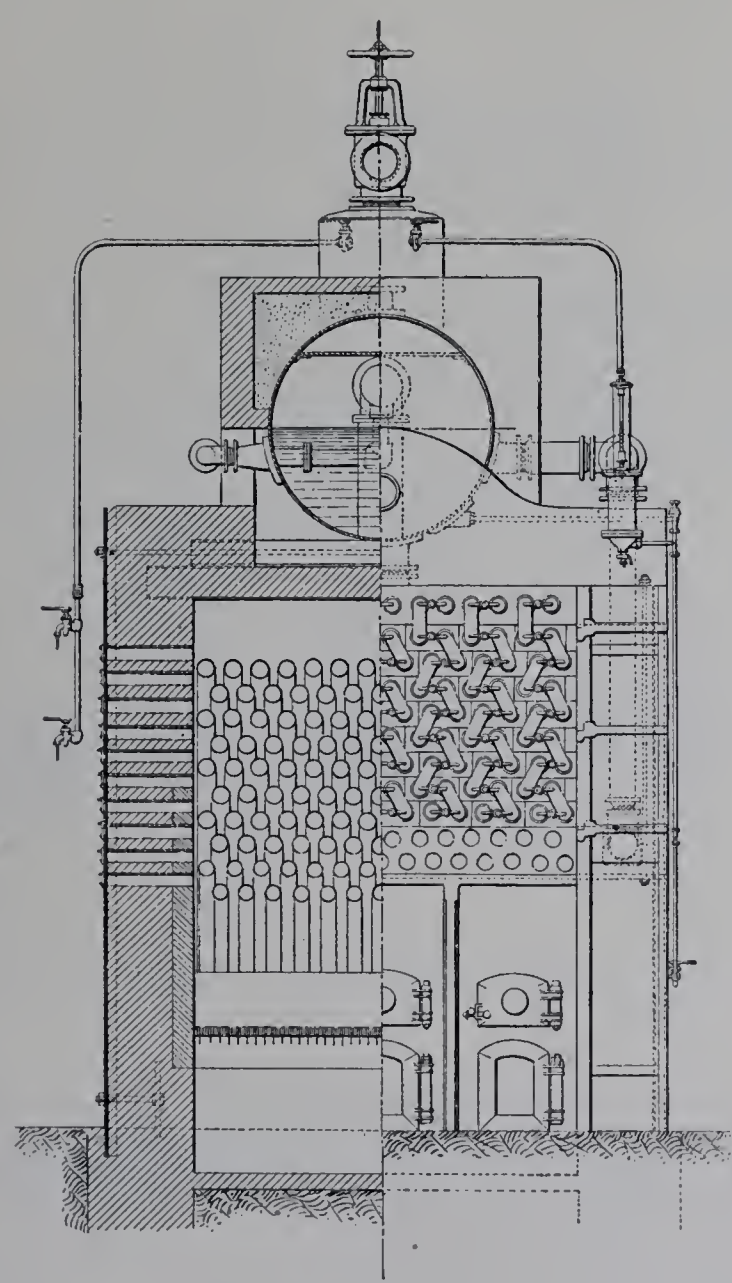


Fig. 104. — Chaudière de Naeyer. Demi-coupe transversale et demi-élévation.

Au-dessus des deux ou trois éléments superposés, et inclinés comme d'habitude sur l'horizon, prend place un réservoir horizontal d'eau et de vapeur, sensiblement de même diamètre que les caisses de chaque élément. La caisse supérieure d'avant est en communication avec ce réservoir; le débouché est coiffé d'une allonge s'élevant au-dessus du niveau de l'eau et se recourbant horizontalement. A l'arrière, un tuyau de communication vertical rachète la différence de niveau entre le réservoir et la caisse de l'élément supérieur.

On aurait ainsi une chaudière complète, mais très peu étendue en largeur. En réalité, l'on juxtapose plusieurs de ces systèmes, comme autant d'éléments verticaux. Les réser-

voirs supérieurs sont reliés par un dôme de prise de vapeur commun, en forme de cylindre horizontal placé transversalement; les caisses *A* des éléments inférieurs sont

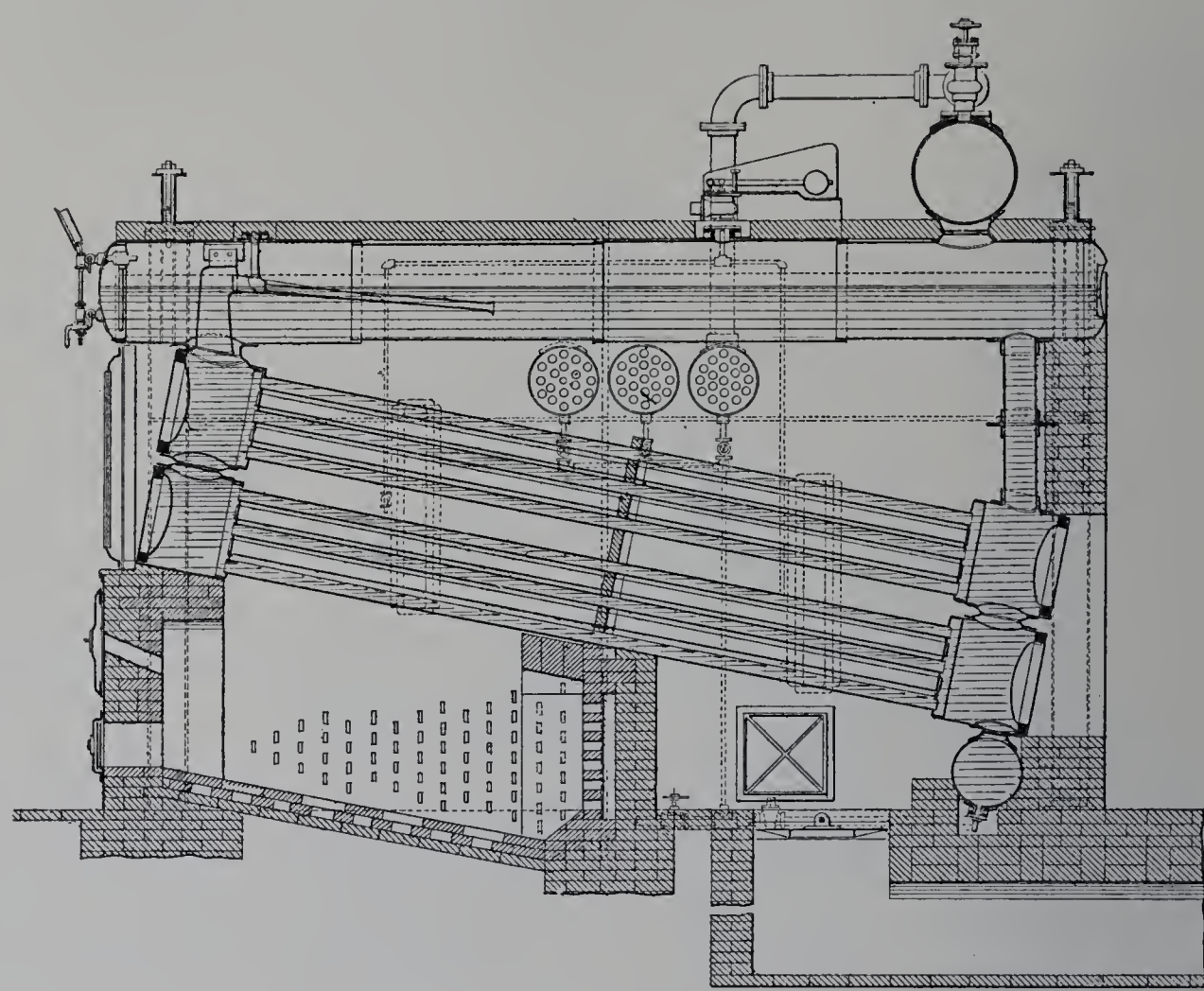


Fig. 105. — Chaudière Schuchow. (M. Bary.) Coupe longitudinale.

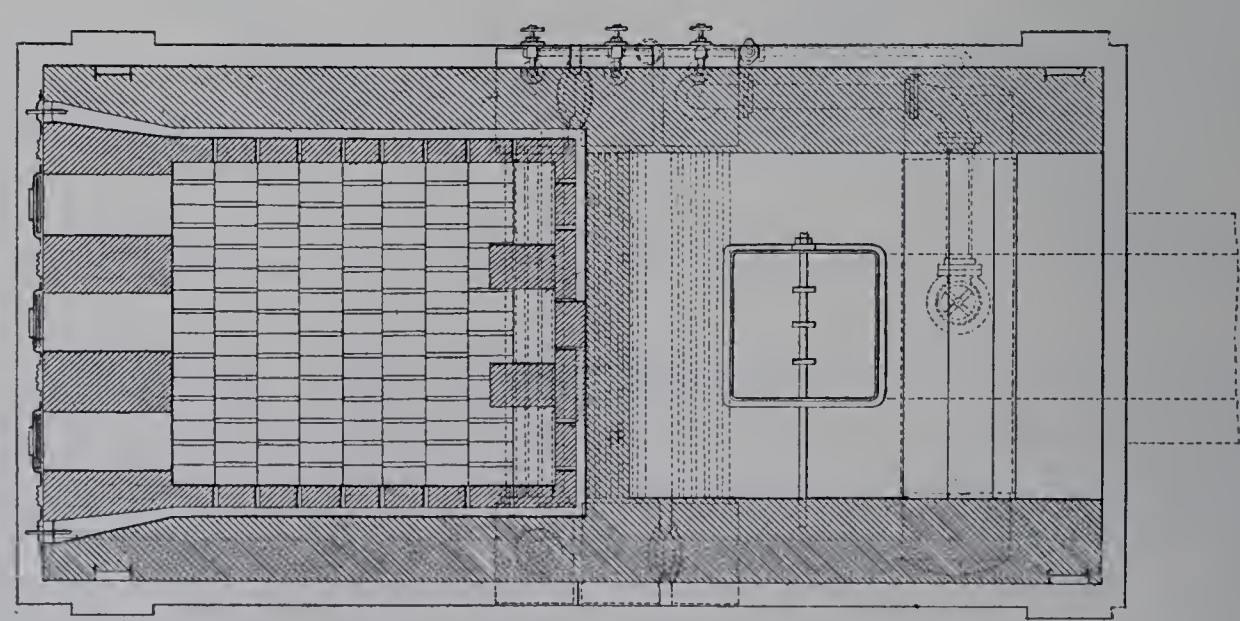


Fig. 106. — Coupe horizontale du foyer.

mises en communication avec un autre réservoir cylindrique transversal, constituant un collecteur de dépôts commun à l'ensemble du générateur.

La chaudière exposée mesure 94 mètres carrés de surface de chauffe; la pression de fonctionnement prévue est de 10 kilogrammes par centimètre carré. Son foyer est disposé pour la combustion du mazout.

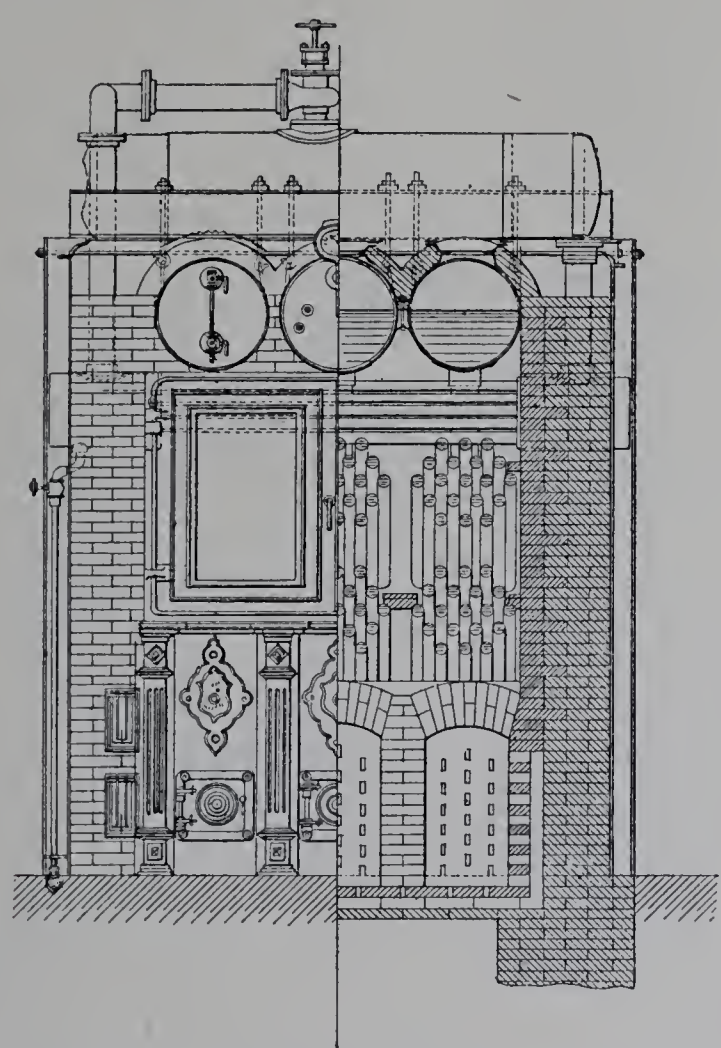


Fig. 107. — Demi-élévation et demi-coupe tranversale.

§ 3. Tubes Field inclinés.

Principe des chaudières à circulation libre et à tubes Field inclinés. — Dans toutes les chaudières à tubes d'eau qui viennent d'être passées en revue, chaque tube vaporisateur est en relation par ses extrémités avec deux collecteurs ou deux caissons; la circulation régulière comporte un sens unique de mouvement pour l'eau et la vapeur à l'intérieur du tube, de l'une à l'autre extrémité. Nous avons maintenant à parler d'une classe d'appareils qui se rattachent aux précédents par le mode de groupement des tubes, leur inclinaison modérée sur l'horizon et la disposition générale de l'ensemble, mais qui en diffèrent essentiellement en ce que chacun des tubes est fermé en cul-de-sac à l'une de ses extrémités : la vapeur formée se dégage par l'extrémité ouverte; un conduit intérieur, disposé suivant l'axe, porte l'eau jusqu'au voisinage de l'extrémité fermée. Le collecteur sur lequel le tube se trouve greffé est divisé en deux compartiments, dont l'un est en relation avec l'espace annulaire compris entre les deux tubes concentriques et sert à l'ascension de la vapeur, ainsi qu'au mouvement ascensionnel de la circulation du liquide; l'autre est en relation avec le tube intérieur et alimente celui-ci de l'eau

nécessaire pour subvenir à la vaporisation et à la circulation. Le tube vaporisateur, avec son tube intérieur de circulation, constitue un tube Field, mais un tube Field couché et dont les deux capacités concentriques débouchent dans deux compartiments séparés du collecteur. Au sommet de l'appareil, un système de cloisonnement disposé à l'intérieur du réservoir d'eau et de vapeur conserve le plus possible la séparation entre le flux ascendant de vapeur et de liquide et le flux descendant de l'eau remplaçante, afin d'éviter l'enchevêtrement des remous dans la couche d'eau supérieure, souvent reproché au système Field.

Dans les chaudières Field à tubes bouilleurs verticaux, ces tubes pendent tout entiers à l'intérieur du foyer et leur extrémité inférieure se présente en pleine flamme. Que le tube, par défaut de circulation, par accumulation de dépôts, ne soit pas bien rafraîchi intérieurement, c'est là de préférence que se fera sentir la surchauffe. Dans un faisceau vaporisateur composé de tubes Field inclinés, les extrémités Æ des tubes sont au contraire soustraites à l'action du feu; elles sont supportées par une sorte d'étagère qui les isole du foyer. Des bouchons les terminent, qu'il est nécessaire d'enlever lorsqu'on veut vider complétement l'appareil sans retirer les tubes.

Un générateur établi sur ce plan général peut être considéré comme une chaudière à circulation libre et à collecteurs, où chaque tube vaporisateur se trouve replié sur lui-même en deux moitiés co-axiales et où les deux collecteurs de chaque élément sont juxtaposés l'un derrière l'autre à un même bout de l'appareil.

Système Collet. Générateurs Niclausse. — Ces principes étaient réalisés dans la chaudière Collet. La chaudière Niclausse (fig. 108 et suivantes), qui en dérive, en diffère par la construction.

Dans le système Collet, l'assemblage de l'extrémité Æ du tube sur la face Æ du collecteur, celui du tampon de trou de poing sur la face Æ de la même pièce et celui de l'obturateur terminal Æ sur le tube, dépendaient ensemble de la traction d'un long boulon axial.

Dans les appareils Niclausse, la disposition générale est celle représentée schématiquement par la fig. 109 : chaque tube vaporisateur, fermé par un bouchon vissé à son extrémité Æ (fig. 110), forme avec le système d'obturation de l'orifice Æ du collecteur un ensemble amovible qui se met en place et se retire avec la plus grande facilité et demeure entièrement libre d'obéir aux dilatations. La jonction de cet ensemble avec les deux faces Æ et Æ du collecteur constitue un assemblage différentiel à portées légèrement coniques, métal sur métal. Pour que les deux emmanchements soient étanches l'un et l'autre, on a soin que celui de l'avant, plus élastique que celui de l'arrière, commence à se mettre en serrage le premier.

Une légère différence de section des deux ouvertures est nécessaire pour que l'introduction du tube soit possible; mais le plus petit diamètre de l'ouverture d'avant ne diffère pas sensiblement du plus grand de celle d'arrière, de sorte que la poussée résultante, tendant à déboîter la pièce, serait très faible si le contact des surfaces coniques était

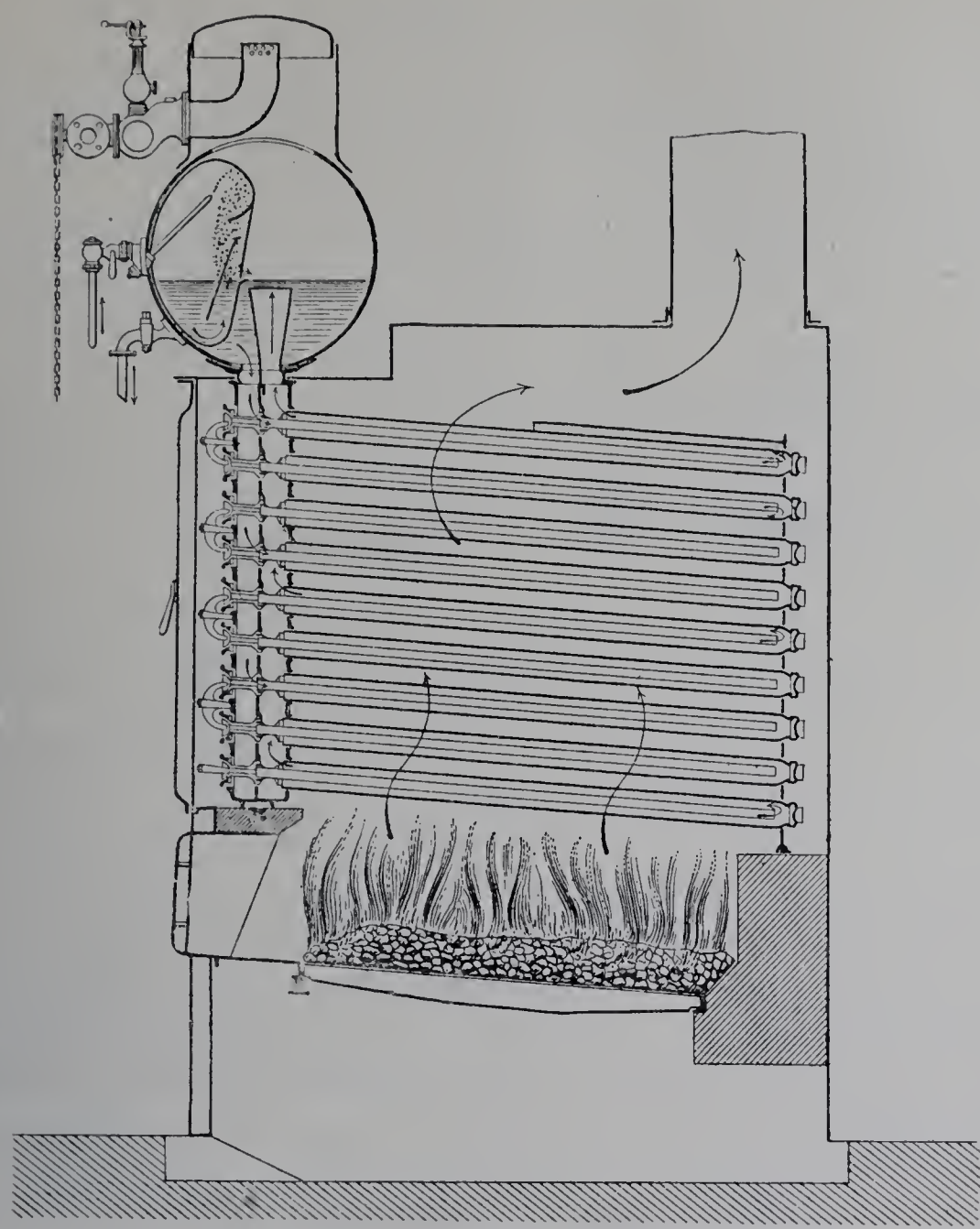


Fig. 108. — Générateur Niclausse.

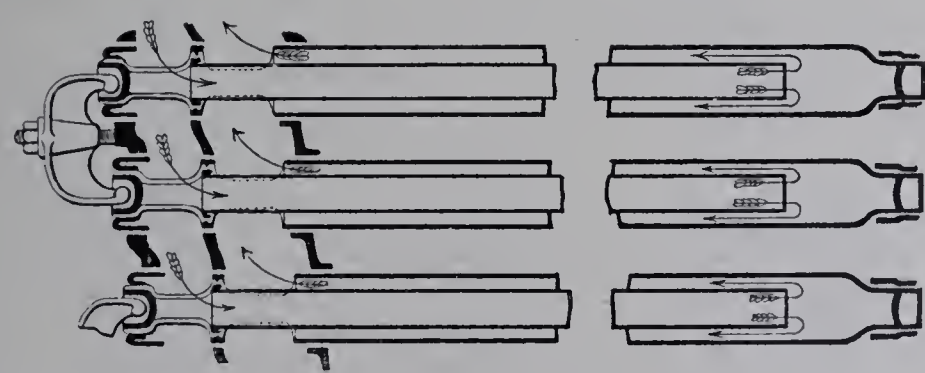


Fig. 109. — Coupe schématique montrant la disposition générale des tubes dans le système Niclausse.

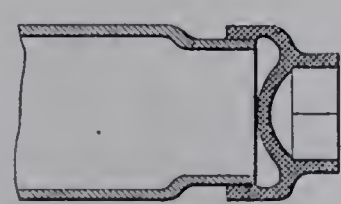


Fig. 110. — Système Niclausse. Extrémité *A* d'un tube vaporisateur.

établi d'une manière parfaite. Toutefois, comme il ne faut jamais compter pour la tenue d'un assemblage sur la résistance d'un frottement, des boulons à ancre extérieurs assurent la stabilité de l'emmanchement.

Pour établir les communications de vapeur et d'eau avec les deux compartiments du collecteur, dans la partie qui traverse successivement ces deux compartiments, la tête

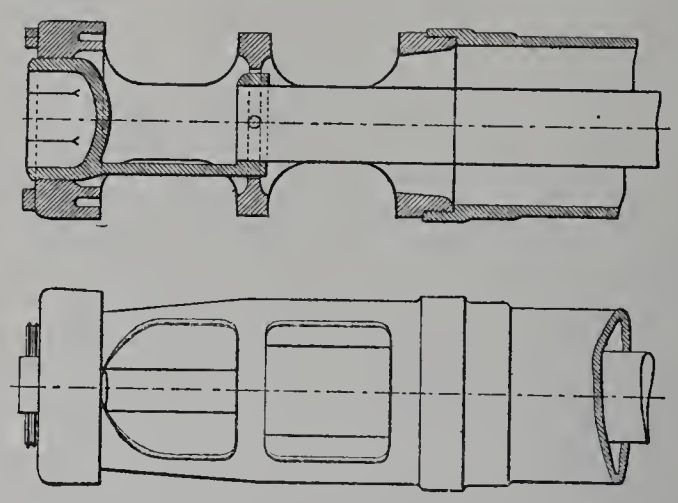


Fig. 111. — Système Niclausse. Tête d'un tube vaporisateur soudé à recouvrement.

du tube est ajourée en lanterne. C'est par les barrettes formant les parties pleines de la lanterne que sont reliées l'une à l'autre les deux bagues coniques de l'assemblage différentiel. C'est là, naturellement, le point délicat de la construction. MM. J. et A. Niclausse ont d'abord employé des lanternes rapportées, vissées sur des tubes soudés

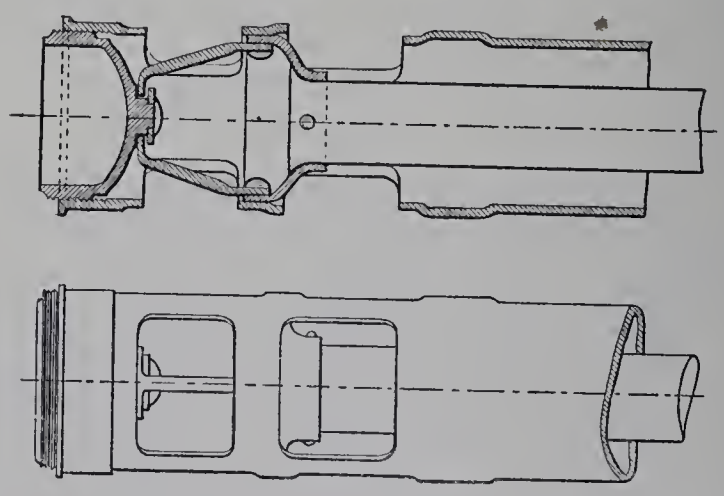


Fig. 112. — Système Niclausse. Tête d'un tube vaporisateur étiré sans soudure.

à recouvrement (fig. 111). Maintenant ils ont adopté des tubes sans soudure à l'extrémité desquels la lanterne est découpée à même dans le métal (fig. 112); des renflements obtenus par emboutissage portent le diamètre aux valeurs voulues au droit des deux portées coniques et au droit de la cloison intermédiaire entre les deux compartiments du collecteur; tout le tube vaporisateur est ainsi fabriqué d'un seul morceau.

Le tube intérieur de circulation, qui n'a à résister à aucune différence de pression sur ses deux faces, est en tôle mince, de 8/10 de millimètre; son extrémité antérieure est munie d'un lanterneau, auquel il est simplement attaché par deux rivets, et dont la partie ajourée établit la communication avec un seul des deux compartiments du collecteur, c'est à savoir avec le compartiment *N* ou de retour d'eau. Le lanterneau se termine, à son extrémité antérieure, par un bouchon fileté qui se visse dans une ouverture taraudée de la lanterne.

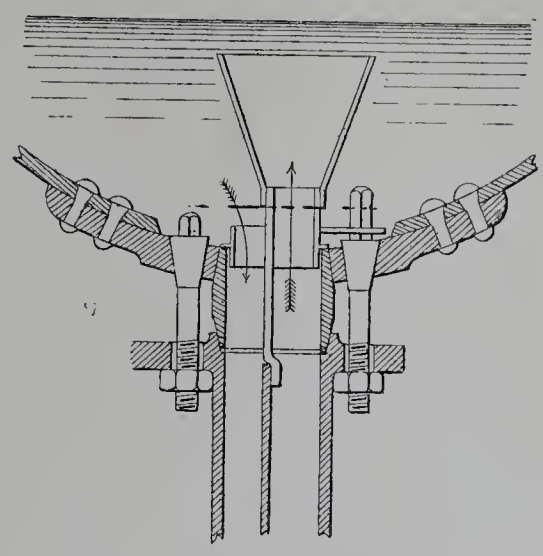


Fig. 113. — Système Niclausse.
Partie inférieure du réservoir d'eau et de vapeur.

Le tube de circulation est donc amovible par rapport au tube vaporisateur, en même temps que l'ensemble des deux tubes est amovible par rapport au collecteur.

La chaudière comporte un jeu de collecteurs verticaux juxtaposés. Chaque collecteur correspond à deux files verticales de tubes et son tracé est ondulé; par la juxtaposition d'un plus ou moins grand nombre d'éléments ainsi constitués, le faisceau des tubes vaporisateurs se trouve disposé en quinconce.

Le réservoir supérieur d'eau et de vapeur, non chauffé, est un ballon cylindrique disposé transversalement; les orifices qui reçoivent l'extrémité supérieure des collecteurs sont alignés suivant la génératrice inférieure du cylindre : il faut prendre soin de racheter par un renforcement spécial l'affaiblissement résultant de ces ouvertures (fig. 113).

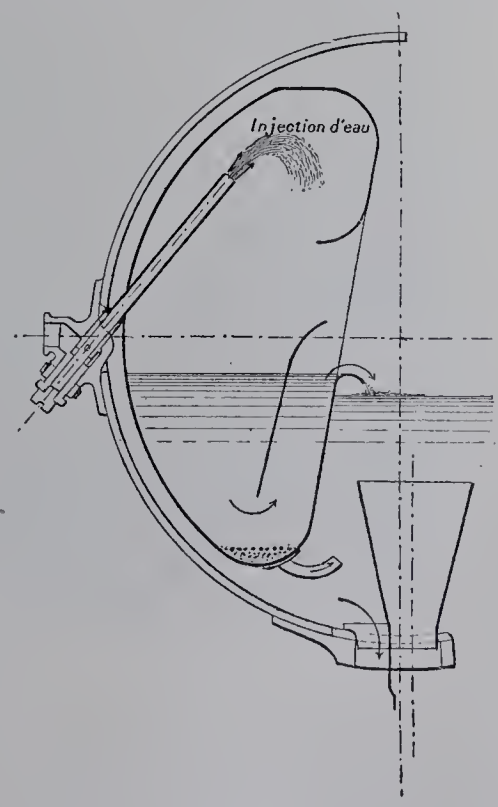


Fig. 114. — Système Niclausse. Alimentation.

A l'intérieur de ce réservoir, le courant ascendant de vapeur et d'eau se dégage dans un compartiment en forme d'auge; ce compartiment isole, jusqu'à un niveau voisin du plan d'eau, le liquide bouillonnant d'où la vapeur se dégage, d'avec le liquide non mêlé de vapeur qui gagne le retour d'eau. L'eau d'alimentation, injectée dans la vapeur, afin de précipiter immédiatement les dépôts à l'état pulvérulent, jaillit derrière un écran qui la rabat tout de suite vers le bas et la fait retomber en pluie sur la surface liquide, dans un compartiment spécial où se trouve disposé un robinet d'extraction (fig. 108).

L'exposition de MM. J. et A. Niclausse comprend 21 générateurs en service, dont

12 à l'usine La Bourdonnais et 9 à l'usine Suffren. Ces appareils, tous du même modèle, offrent chacun 100 mètres carrés de surface de chauffe et $2^{mq}94$ de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 34\right)$, pour une production d'environ 1,700 kilogrammes de vapeur à l'heure. Ils sont accolés par groupes de trois; le massif correspondant à chaque groupe mesure, en plan, $6^{m}50$ parallèlement aux façades et $3^{m}80$ dans le sens perpendiculaire; c'est un encombrement horizontal de $2^{mq}80$ par mètre carré de surface de grille, mais il ne faut pas oublier que ce calcul comprend dans l'espace occupé les conduits de fumée plongeants.

Les mêmes exposants ont installé, dans la partie du Palais de la Mécanique affectée à la Classe 19, un stand (fig. 115) où ils présentent plusieurs générateurs de moindres dimensions, notamment un modèle transportable de 15 mètres carrés de surface de chauffe et un demi-mètre carré de surface de grille; cette exposition est disposée de manière à faire apprécier la facilité du démontage et du remontage des tubes, ainsi que les détails de la fabrication.

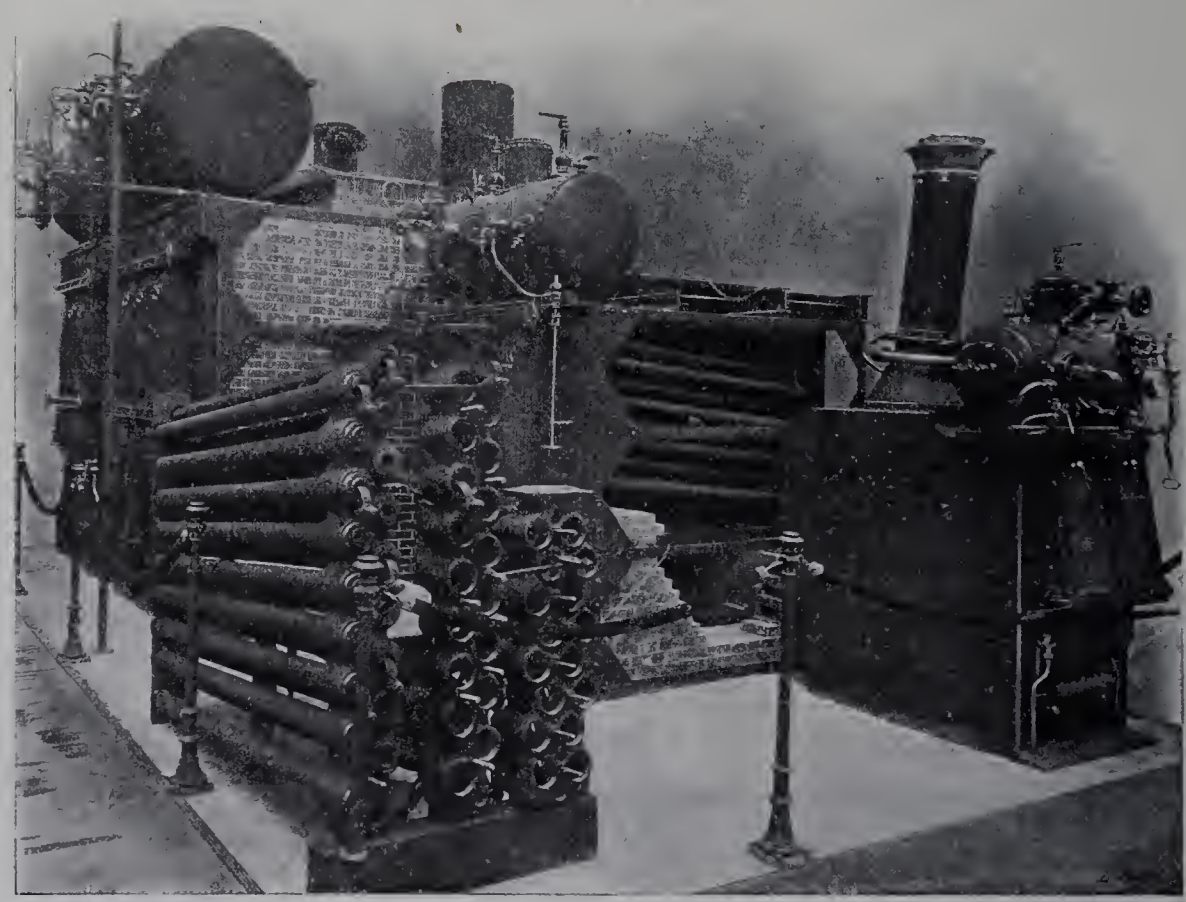


Fig. 115. — Stand de MM. J. et A. Niclausse.

Dispositions diverses. — *Chaudières Dürr.* — Les tubes Field couchés, au lieu d'être greffés sur une série de collecteurs verticaux juxtaposés comme dans le système Collet-Niclausse, peuvent l'être sur un caisson unique à faces entretoisées : il faut seulement que le caisson soit partagé en deux compartiments par une cloison, comme l'est, dans l'autre système, chaque collecteur vertical. Sur la face postérieure du caisson se trouvent greffés les tubes vaporisateurs; sur la cloison, les tubes intérieurs de circulation.

C'est ainsi qu'est constituée, par exemple, la chaudière Dürr, qui dérive des types à caissons comme la chaudière Niclausse dérive des types à collecteurs. Le système Dürr est fort répandu en Allemagne. Mais, à l'Exposition, il ne figure à la Classe 19 que sous la forme de dessins; on le trouve en nature parmi les appareils de navigation, à la Classe 118.

Exposition de M. Montupet. — La collection variée de solutions, présentées par M. Antoine Montupet, comprend les deux systèmes : tubes Field inclinés greffés sur un caisson général et tubes Field inclinés greffés sur un jeu de collecteurs verticaux. Ce constructeur a installé à l'usine La Bourdonnais trois générateurs, représentant un type « fixe industriel », avec caissons, et deux générateurs dits du « type Marine », avec collecteurs ondulés.

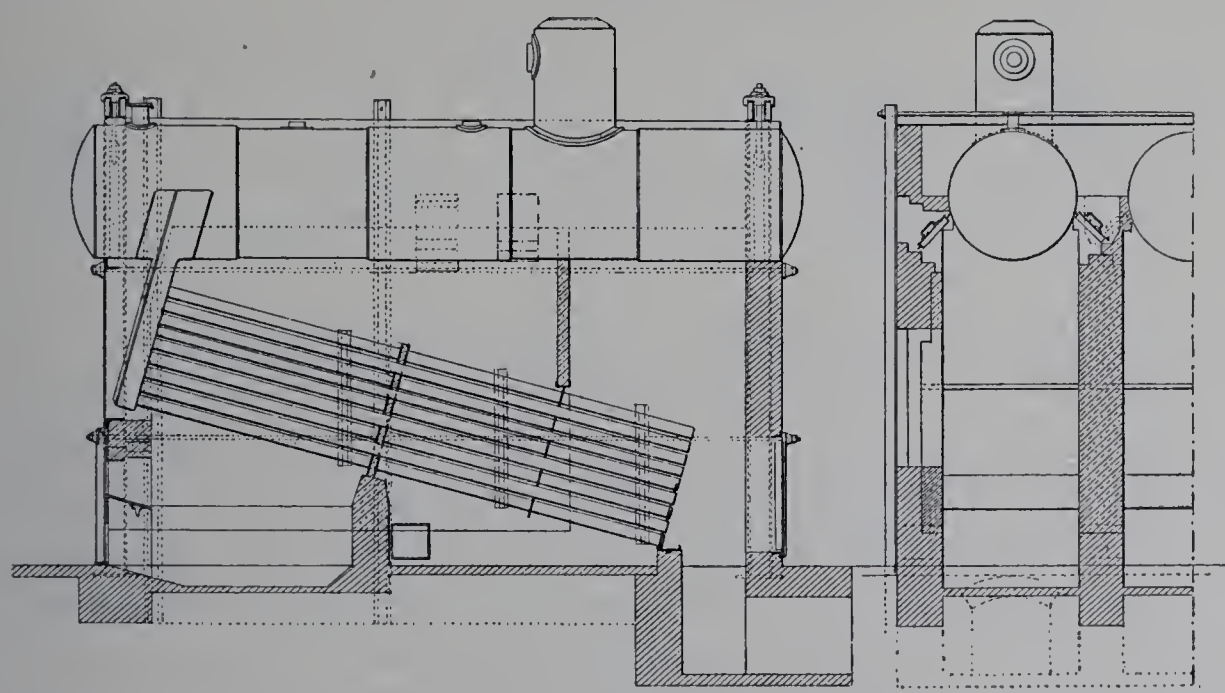


Fig. 116. — Chaudières à tube d'eau, système Montupet.

Les appareils du type fixe (fig. 116) offrent chacun 126 mètres carrés de surface de chauffe et $2^{mq}80$ de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 45\right)$. Ils ont été proportionnés en vue des cas où la place ne manque pas et où l'on doit assurer une grande stabilité au fonctionnement. Les tubes vaporisateurs, de 100 millimètres de diamètre extérieur, ne mesurent pas moins de $5^{m}50$ de longueur : la grille, d'une longueur d'environ 2 mètres, est disposée sous la partie antérieure du faisceau et les gaz chauds sont chicanés par cloisons transversales aux tubes, de manière à exécuter trois parcours alternativement ascendants et descendants. Le caisson collecteur cloisonné, sur lequel est greffé ce faisceau vaporisateur, pend au-dessous d'un corps cylindrique de $1^{m}30$ de diamètre et $6^{m}80$ de longueur, partiellement chauffé.

Le type « Marine » a été combiné de manière à réduire le plus possible l'encombrement. Les tubes vaporisateurs, de 80 millimètres de diamètre, n'ont que $2^{m}35$ de longueur. Ils sont au nombre de 207 : un réchauffeur les surmonte, composé

IMPRIMERIE NATIONALE.

d'environ 70 tubes de 70 millimètres de diamètre et 1^{m} 85 de longueur. Les gaz de la combustion, chicanés par des cloisons parallèles aux tubes, serpentent en deux parcours successifs au travers du faisceau vaporisateur et chauffent le réchauffeur en troisième parcours. Le tout offre 150 mètres carrés de surface de chauffe (dont un cinquième correspondant au réchauffeur), pour une surface de grille de 4^{mq} 60 $\left(\frac{S}{G} = 33\right)$.

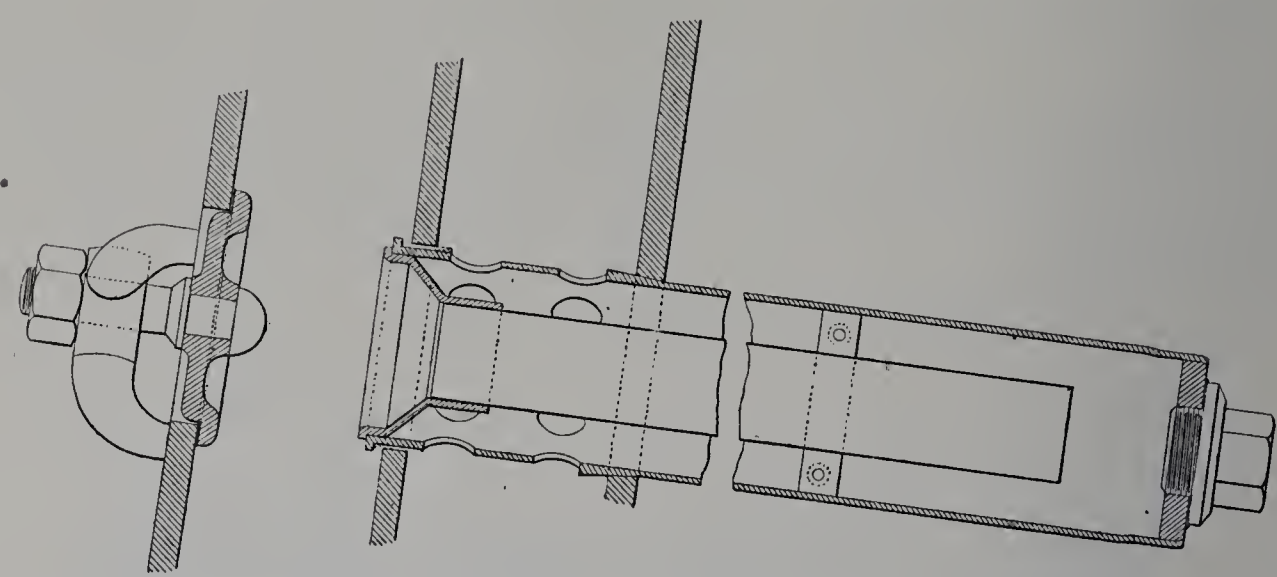


Fig. 117. — Système Montupet. Emmanchement d'un tube vaporisateur.

Au lieu de donner, comme MM. Niclausse, à chaque tube vaporisateur une tête en lanterne traversant les deux compartimants du collecteur et réalisant un assemblage différentiel, M. Montupet greffe simplement le tube sur le compartiment Æ du collecteur (fig. 117). Il lui conserve cependant le caractère de l'amovibilité. Il le fait porter par une bague conique dans le trou de la paroi postérieure; la pression pèse sur cet assemblage dont elle tend à maintenir l'étanchéité, comme s'il s'agissait d'un tube vertical inséré dans l'un des trous du ciel de foyer d'une chaudière Field.

Fig. 118. Trous à fermeture autoclave (Montupet).

En avant de cette bague d'assemblage, le tube se prolonge par une tête ajourée formant lanterne; mais cette tête ne traverse que le compartiment Æ du collecteur; elle se termine au droit de la cloison séparative des deux compartiments par une bague cylindrique qui vient se placer dans le trou dont cette cloison est percée et qui a servi à l'introduction du tube. La jonction qui se fait là n'a pas besoin d'être rigoureusement étanche et la bague cylindrique demeure libre de coulisser dans son trou.

Le tube directeur se termine par une tête évasée en forme d'entonnoir qui vient s'assembler par filetage sur l'extrémité de la lanterne du tube vaporisateur.

Quant à la paroi N de la caisse collectrice ou du collecteur, que ces dispositions laissent libre de toute jonction avec les tubes, elle est naturellement percée, en regard de chacun de ceux-ci, d'un trou pour la mise en place, le nettoyage et le démontage du tube. Ce trou est fermé par un tampon autoclave; en vue de l'introduction de ce

tampon, il n'est pas exactement circulaire : sa forme (fig. 118) est celle d'un cercle agrandi suivant un de ses diamètres par deux découpures en arc de cercle d'un rayon moindre que le cercle principal : de telle sorte que, à l'atelier, chacun de ces orifices est obtenu par le perçage de trois trous circulaires. Les autoclaves sont mis en place avec joints en tissu d'amiante caoutchoutée.

Chaudière Joya. — La chaudière exposée par M. Johanny Joya, de Grenoble, est à tubes Field inclinés, comme les précédentes, et à collecteurs verticaux juxtaposés, chaque collecteur correspondant à deux files verticales de tubes.

Les tubes sont greffés simplement sur la paroi Æ du collecteur, sans se prolonger par aucune lanterne à l'intérieur de celui-ci. Sur la cloison transversale du même collecteur sont greffés les tubes intérieurs de circulation; comme les trous de la cloison sont nécessairement d'un diamère plus grand que ces tubes, puisque c'est par eux que se fait l'introduction des tubes vaporisateurs, chaque tube de circulation a une tête évasée en forme d'entonnoir, de manière à venir s'assembler au pourtour du trou. Quant à la paroi N du collecteur, elle porte, en regard de chaque tube, pour la mise en place de celui-ci et pour le nettoyage, un trou de poing fermé par un bouchon autoclave.

Dans ce type de chaudière, l'obturation de l'extrémité Æ des tubes vaporisateurs est également autoclave : elle a lieu au moyen d'un bouchon tronconique introduit par l'extrémité N.

La chaudière est proportionnée de manière à posséder un important volant de chaleur. Le faisceau vaporisateur est surmonté d'un grand corps cylindrique en forme de T, partiellement chauffé.

Chaudière en X, système P. Borrot. — Des systèmes précédents, la chaudière Borrot, exposée par la Société « Les chaudronneries du Nord de la France » (usine à Lesquin-lès-Lille), se distingue nettement par la grande inclinaison de ses tubes, qui font avec l'horizon un angle de 50 degrés, et par l'entrecroisement de deux faisceaux vaporisateurs, inclinés en sens inverse comme les deux jambages d'un X (fig. 119 à 121). La grande inclinaison des tubes est évidemment, par elle-même, favorable au dégagement de la vapeur et à l'activité de la circulation. Chacun des deux faisceaux entrecroisés est greffé sur un caisson collecteur qui lui est perpendiculaire; les deux caissons collecteurs sont surmontés d'un réservoir cylindrique d'eau et de vapeur partiellement chauffé, auquel ils s'assemblent le long de deux génératrices.

Chaque caisson a ses faces planes reliées au moyen d'entretoises. Il est séparé en deux compartiments par une cloison intérieure. Mais, contrairement à ce qui a lieu dans tous les systèmes précédents, c'est le compartiment tourné vers le foyer, c'est-à-dire ici le compartiment inférieur, qui sert à la descente de l'eau, et le compartiment supérieur (ou extérieur) qui sert au dégagement de la vapeur et au mouvement ascendant de l'eau circulante. C'est donc sur la cloison séparative des deux compartiments que

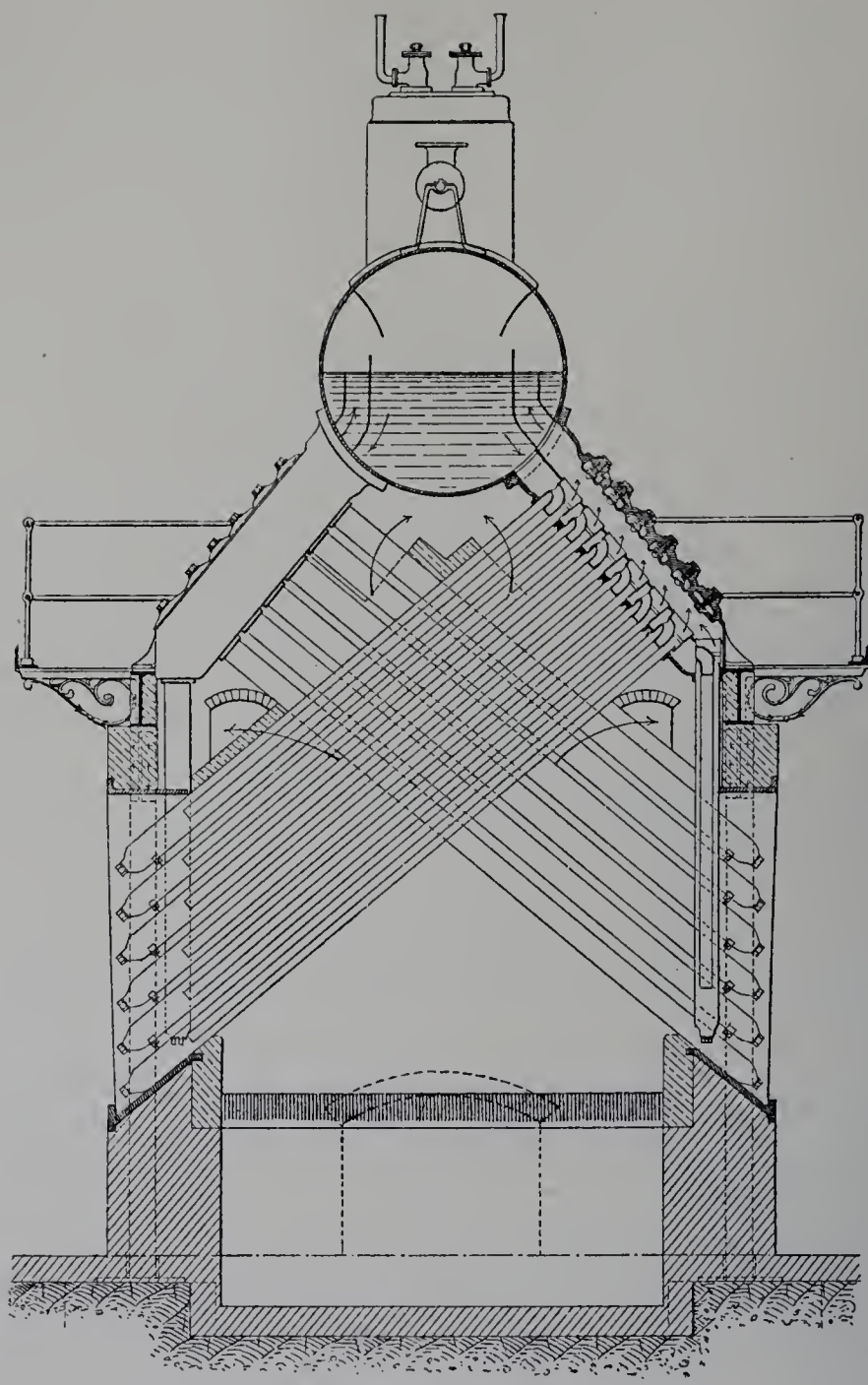


Fig. 119. — Chaudière Borrot. Coupe transversale.

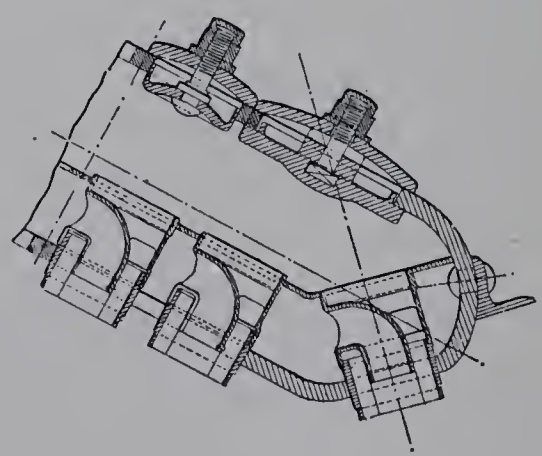


Fig. 120. — Détails de construction d'un caisson collecteur

débouchent les tubes vaporisateurs (fig. 120). Chacun de ceux-ci se termine, en conséquence, par une tête qui traverse le compartiment inférieur : au droit de la paroi du caisson, cette tête porte une bague de forme conique, qui vient prendre appui dans l'ouverture alésée de la paroi du caisson : là se fait l'assemblage résistant et étanche; l'extrémité de la tête ne forme que joint glissant dans l'ouverture correspondante de la cloison intérieure.

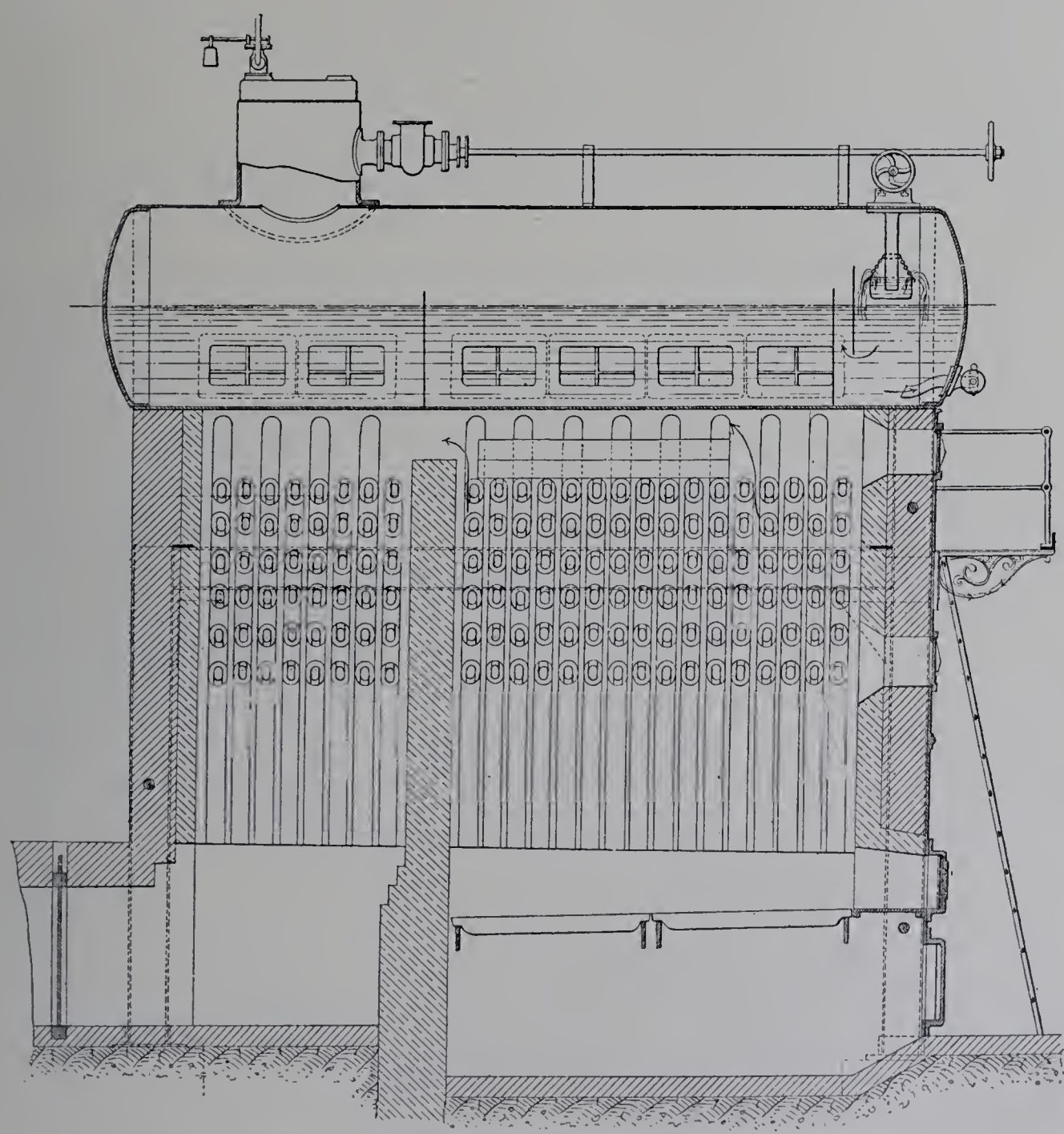


Fig. 121. — Chaudière Borrot. Coupe longitudinale.

Quant à la communication entre le tube intérieur de circulation et la lame d'eau inférieure, elle a lieu au moyen de l'artifice suivant : la tête du tube vaporisateur, dans la partie qui traverse la lame d'eau, est percée d'un trou latéral; de celui-ci part un coude inférieur qui vient se raccorder avec le tube de circulation. Le trou est naturellement orienté vers le haut, afin que l'eau qui descend par le compartiment correspondant du caisson s'introduise aussi facilement que possible dans le coude, et de là dans le tube de circulation.

Dans chaque faisceau vaporisateur, les tubes des différentes rangées sont de longueurs inégales, de manière que les extrémités inférieures de ces tubes s'alignent dans un même plan vertical, extérieurement au fourneau. Ces extrémités sont fermées par des bouchons de bronze, vissés dans des taraudages nickelés.

Au bas des deux faisceaux vaporisateurs, entre les jambes de l'X, est disposée la grille, qui allonge ses barreaux parallèlement à l'axe du réservoir supérieur d'eau et de vapeur (fig. 121). Mais l'appareil est plus étendu, dans le sens de cet axe, que la grille n'est longue : au bout de celle-ci se dresse un muraillement transversal, séparant le fourneau en une chambre *N* et une chambre *R*. C'est dans la première que se trouve la grille; les gaz, après s'être élevés parmi les tubes vaporisateurs correspondant à cette chambre, passent par-dessus le muraillement transversal et redescendent en chauffant les tubes vaporisateurs de la partie *R*.

En vue de réduire au minimum les pertes par rayonnement, les parois latérales du fourneau, tant dans la chambre *N* que dans la chambre *R*, sont intérieurement tapissées de tubes Field verticaux, qui pendent au-dessous de la partie la plus basse de chacun des deux caissons collecteurs, dans les intervalles laissés libres par les tubes inclinés.

La lettre X laisse, entre les deux traits qui la forment, quatre intervalles angulaires. L'intervalle inférieur, dans la partie *N*, c'est-à-dire au-dessus de la grille, est laissé libre et constitue une assez vaste chambre de combustion; de l'autre côté du muraillement transversal, dans la partie *R*, ce même intervalle est utilisé pour loger un réchauffeur d'eau d'alimentation. C'est un système de tubes Field horizontaux; ces tubes sont en fer, mais nickelés dans le but de prévenir les corrosions. L'ensemble du réchauffeur est monté sur un chariot, qu'on peut faire sortir du fourneau pour le nettoyage.

Dans les angles latéraux et dans l'angle supérieur de l'X sont disposés, perpendiculairement aux tubes vaporisateurs, trois groupes de trois longs tubes horizontaux, associés en série et constituant un serpentin sécheur ou surchauffeur de vapeur.

La surface de chauffe du générateur s'élève à 100 mètres carrés.

Générateur Turgan. — Les chaudières à circulation libre et à tubes Field couchés, comme les chaudières Niclausse, Dürr, etc., peuvent être considérées, avons-nous dit, comme dérivant des chaudières à circulation libre et à tubes simples par une sorte de reploiement concentrique de chaque tube sur lui-même, de sorte que les deux extrémités du tube, au lieu d'être greffées sur deux collecteurs ou caissons placés l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, se trouvent rapprochées l'une de l'autre à un même bout de l'appareil, où elles sont mises en communication avec les deux compartiments d'un collecteur ou d'un caisson cloisonné. Faisons subir la même métamorphose à une chaudière à circulation accélérée, du type Yarrow : replions sur lui-même, concentriquement, chaque tube vaporisateur de manière à en faire un tube Field et ramenons ainsi le collecteur inférieur d'alimentation au sommet de l'appareil, en le logeant à l'intérieur du réservoir d'eau et de vapeur, qui deviendra un réservoir cloisonné. Nous aurons, dans son principe, le générateur Turgan.

La Société des établissements Turgan et Foy, de Levallois-Perret, expose un exemplaire de ce système (fig. 122 à 124). Les tubes vaporisateurs pendent obliquement sous le ballon cylindrique à axe horizontal constituant le réservoir supérieur. Ils forment deux groupes qui divergent à droite et à gauche du plan de symétrie vertical, de manière à laisser entre eux la place de la grille et de la chambre de combustion. Dans le ballon se trouve disposée une cloison formant vase intérieur : c'est de là que partent les tubes intérieurs de circulation, tandis que la vapeur formée autour de ceux-ci dans les tubes vaporisateurs se dégage en s'élevant dans l'intervalle compris entre la paroi du corps cylindrique et le vase intérieur : il y a ainsi séparation prolongée entre le dégagement de vapeur et le retour d'eau. Afin d'éviter tout ce qui contrarierait une circulation régulière, l'extrémité inférieure des tubes vaporisateurs est soustraite, par une tôle formant écran, à l'action des gaz du foyer.

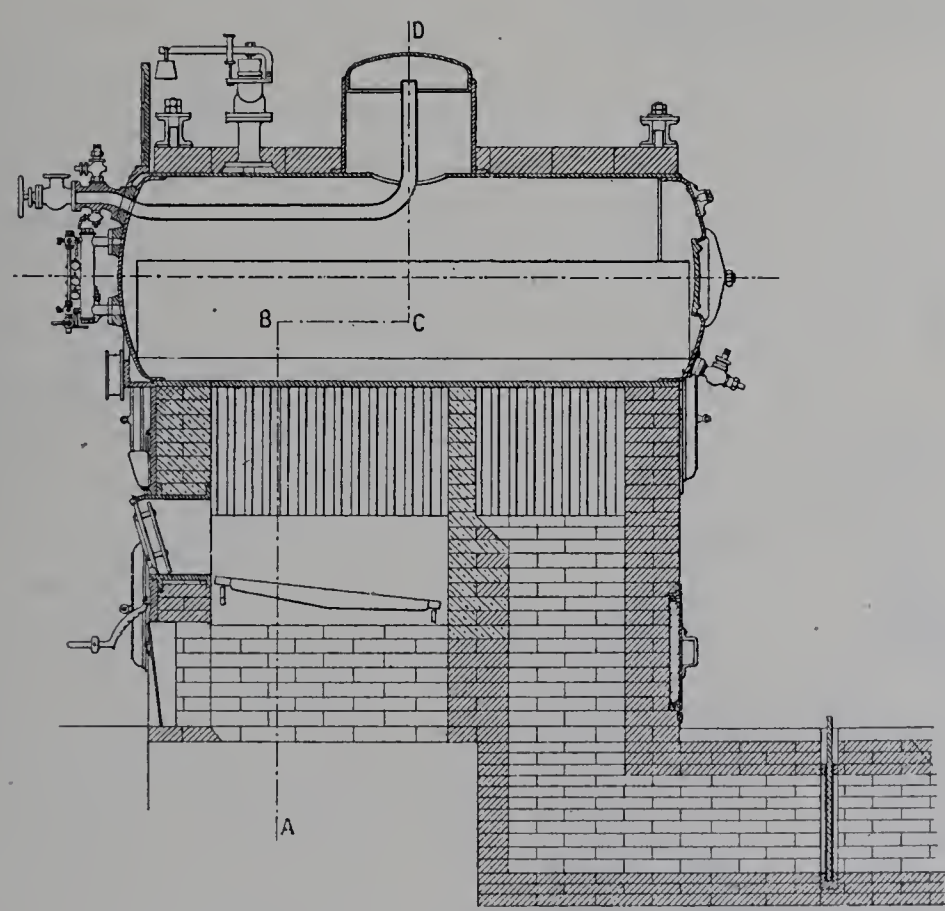


Fig. 122. — Générateur Turgan. — Coupe longitudinale.

Une difficulté de la construction est relative à la mise en place des tubes. Ceux-ci sont perpendiculaires à l'axe du cylindre sur lequel ils sont greffés. Ils ne peuvent donc être disposés comme des tubes Field ordinaires, c'est-à-dire introduits par l'intérieur et assemblés par joints coniques, que si leur longueur n'excède pas le diamètre du cylindre. Dans certains cas, la condition peut être remplie : lorsqu'il s'agit d'un appareil destiné à une installation fixe d'usine, on est libre de donner au réservoir supérieur des dimensions importantes et de multiplier les tubes autant qu'il est nécessaire le long de ce réservoir : il peut, dans ce cas, y avoir égalité entre le diamètre du réservoir et la

longueur des tubes. La stabilité du fonctionnement de l'appareil a tout à gagner aux grandes dimensions du réservoir. Voici par exemple un générateur de 50 mètres carrés de surface de chauffe, comportant 270 tubes de 6 centimètres de diamètre extérieur et 1 mètre environ de longueur; le corps supérieur mesure 1^{m} 10 de diamètre, ce qui permet l'introduction des tubes par l'intérieur, et sa longueur est de 3 mètres environ. La grille, de 1^{mq} 74, ce qui correspond à 30 environ pour le rapport $\frac{S}{G}$, est disposée sous la partie antérieure du faisceau; un muraillement transversal placé au bout de cette grille chicane les gaz et leur fait chauffer la partie postérieure en dernier parcours.

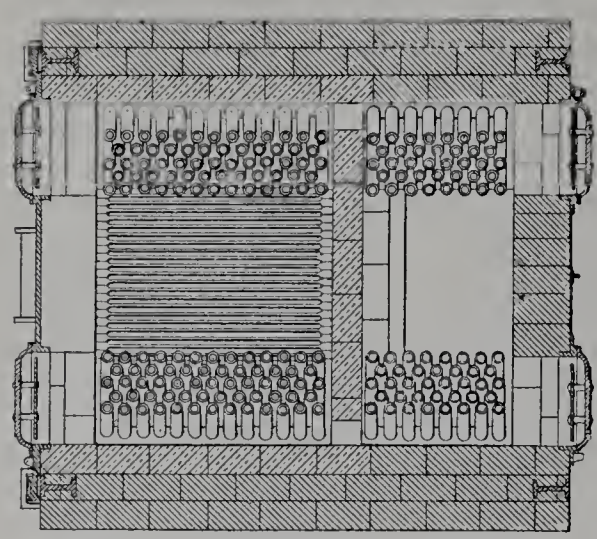


Fig. 123. — Générateur Turgan. Coupe horizontale.

Pour les appareils dont on doit réduire le plus possible le poids et l'encombrement, comme les générateurs de navigation, ces dispositions ne sauraient être admises. Il faut des réservoirs supérieurs de petit diamètre et des tubes longs. Le constructeur a recours alors à divers artifices pour assurer l'assemblage des tubes avec le réservoir, ainsi que le nettoyage intérieur de celui-ci. Les tubes peuvent être mis en place par l'extérieur et maintenus par des écrous placés intérieurement; l'étanchéité du joint est obtenue grâce à un portage conique tenu serré par la traction de l'écrou. Pour permettre d'accéder à l'intérieur du réservoir, on lui donne un fond démontable, ou, s'il est de très petit diamètre, on le forme de deux moitiés assemblées par brides et boulons suivant le diamètre horizontal.

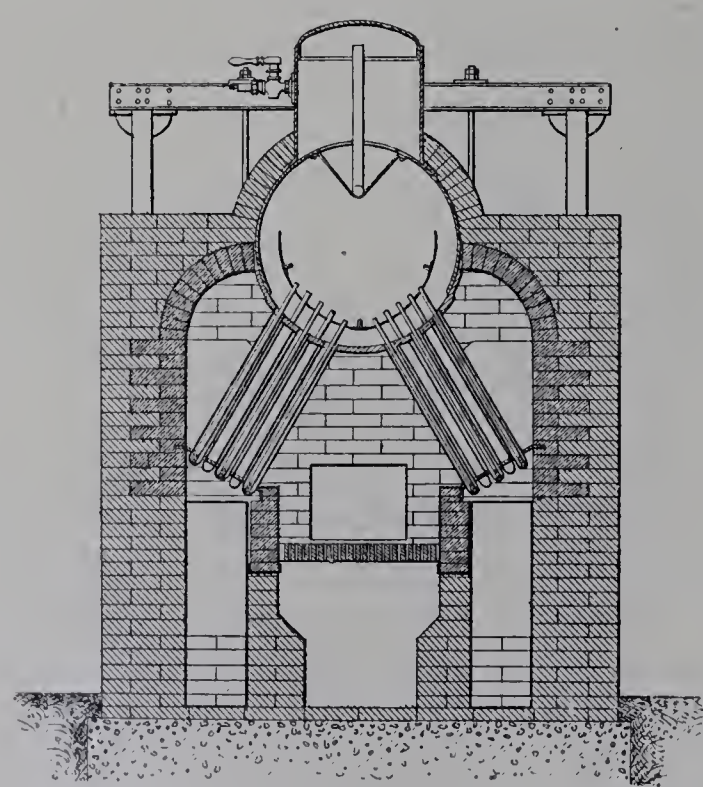


Fig. 124. — Générateur Turgan. Coupe par ABCD de la fig. 122.

On facilite enfin le nettoyage des tubes vaporisateurs en les terminant, à leur extrémité inférieure, par un obturateur amovible, qu'un chapeau extérieur vissé sur le tube tient appliqué contre l'extrémité de celui-ci.

En vue de réduire au minimum le poids des appareils, on utilise le principe bien connu dans la construction des générateurs *express* et consistant à canaliser les gaz du foyer entre des cloisons vaporisatrices formées de tubes jointifs : M. Turgan emploie à cet effet des tubes renflés sur la plus grande partie de leur longueur, l'aug-

mentation de diamètre de la partie renflée étant égale à l'intervalle que les tubes laissent entre eux au goulot.

§ 4. Petits tubes d'eau.

Caractères du système. Circulation accélérée. — En choisissant, pour former la surface de chauffe d'un générateur aquatubulaire, des tubes de petit diamètre, on se

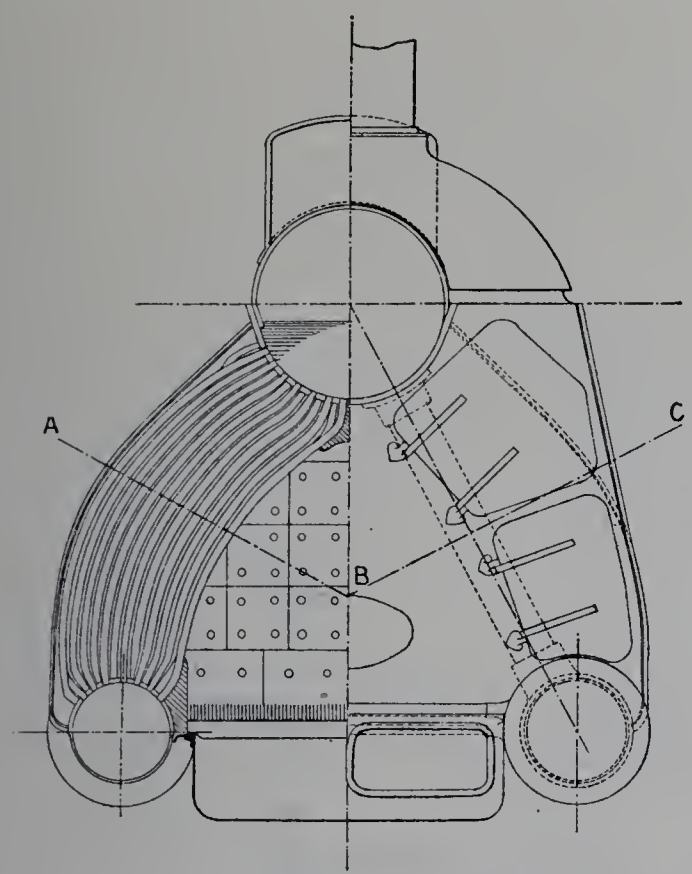


Fig. 125. — Chaudière Du Temple-Guyot à retour de flamme. Demi-coupe transversale et demi-élévation.

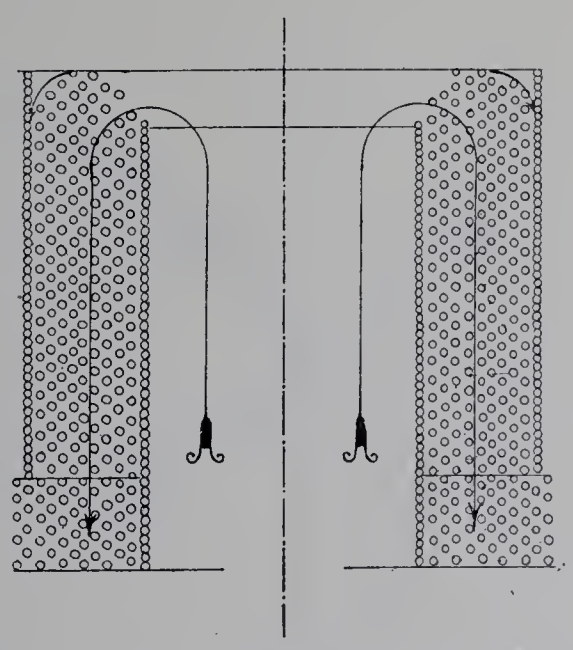


Fig. 126. — Coupe par ABC de la figure 125.

place dans les meilleures conditions pour rendre inoffensive l'éventualité de la rupture ou du déboîtement d'un tube, ainsi que pour constituer un appareil léger. Ce dernier avantage est capital dans certaines applications : c'est en étudiant le problème de l'avia-

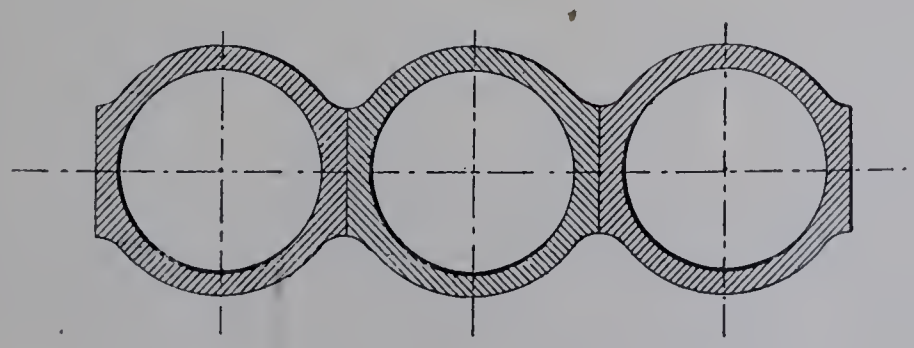


Fig. 127. — Système Du Temple. Cloisons vaporisatrices.

tion que Du Temple a imaginé son système de générateur ; c'est à leur extrême légèreté que les appareils de ce système et des systèmes dérivés, Normand, Thornycroft, Yarrow, etc., ont dû leur adoption à bord des torpilleurs et autres bâtiments rapides de la

marine militaire. Aptes à la production des pressions élevées, promptes à se mettre en pression, ces chaudières supportent d'une manière remarquable les vaporisations intensives, qualité précieuse pour les navires de guerre. A terre, ni la question du poids, ni celle de la souplesse de production n'ont une importance aussi prépondérante; d'autre part, plus les tubes sont étroits, plus il est indispensable de n'alimenter

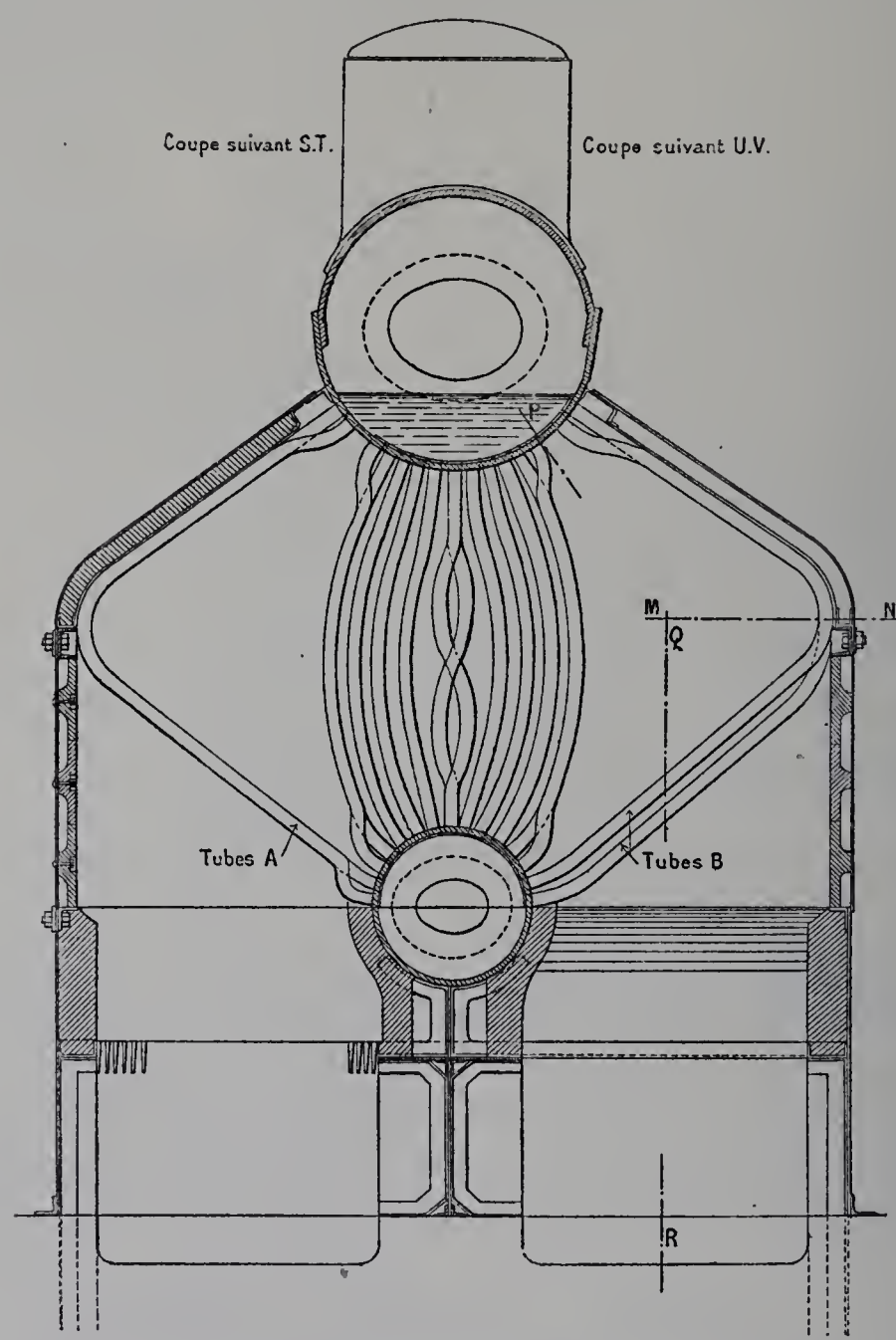


Fig. 128. — Chaudière Chambroché. (MM. de la Brosse et Fouché.)
Coupes transversales.

qu'avec de l'eau extrêmement pure, complication sérieuse pour les établissements ordinaires de l'industrie. Aussi, jusqu'à présent, cette classe de générateurs ne trouve-t-elle guère d'applications que dans la flotte.

C'est à la Classe 118 qu'il faut se rendre pour voir une chaudière Normand, exposée par les Forges et Chantiers de la Méditerranée, et une chaudière Du Temple-Guyot présentée par la Société Du Temple. Ce n'est donc que pour mémoire que nous indiquons, par les fig. 125 à 127, les intéressantes dispositions de ces générateurs.

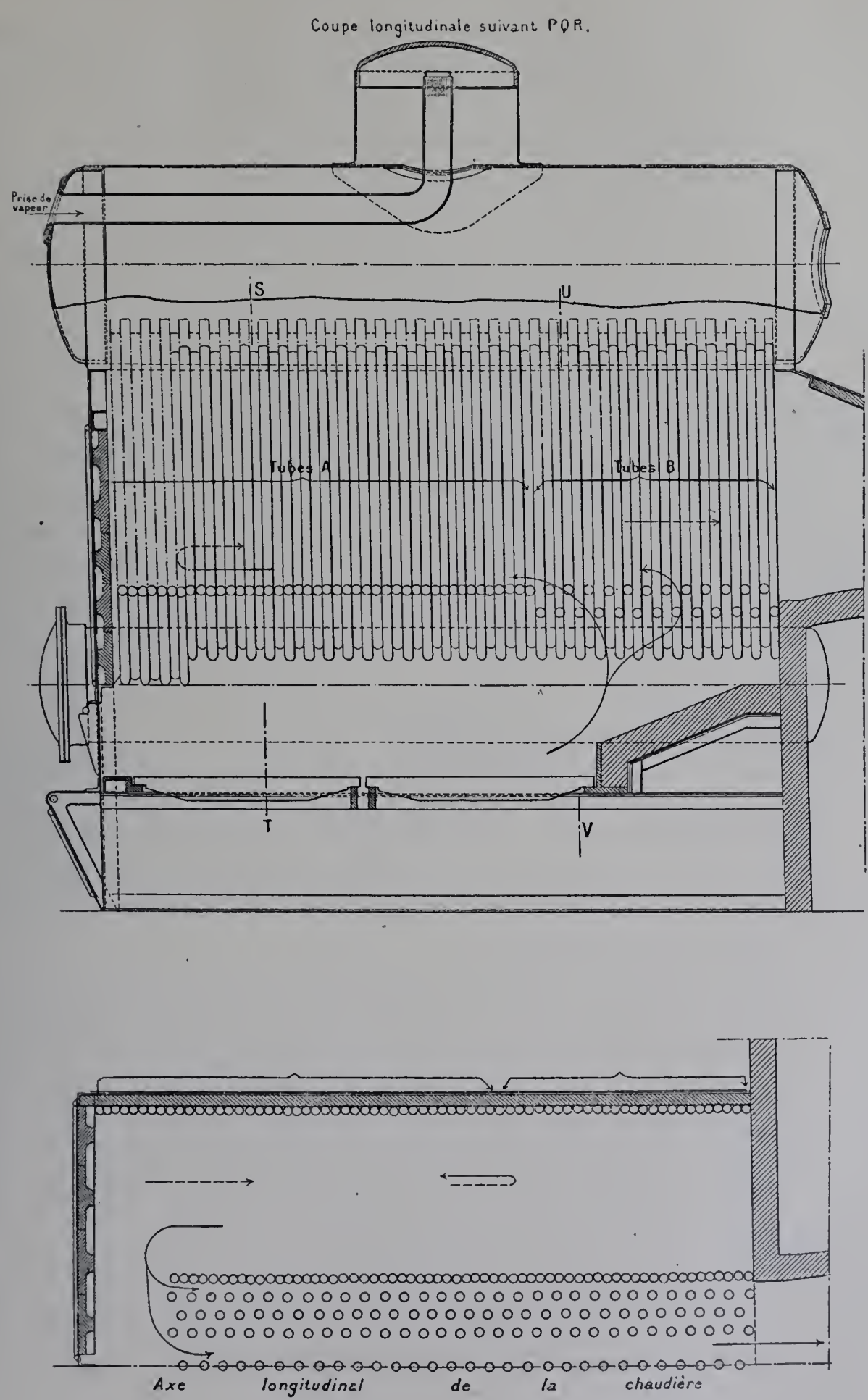


Fig. 129. — Chaudière Chambroché. (MM. de la Brosse et Fouché.)
Coupe longitudinale et demi-plan.

Système Chambroché. — Pourtant l'un des stands de la Classe 19 possède un appareil se rattachant à la même famille. C'est un générateur du système Chambroché, exposé par MM. E. de la Brosse et Fouché, de Nantes. Cet appareil (fig. 128 et 129), timbré à 14 kilogrammes, offre 110 mètres carrés de surface de chauffe. Deux réservoirs cylindriques, l'un de moindre diamètre formant collecteur d'alimentation, l'autre plus gros servant de réservoir d'eau et de vapeur, sont placés directement l'un au-dessus de l'autre et reliés par un jeu de tubes vaporisateurs de 32 millimètres de diamètre intérieur et 4 millimètres d'épaisseur. Deux grilles de foyer sont symétriquement disposées à droite et à gauche du collecteur inférieur. Pour capter la chaleur formée sur ces grilles, les tubes vaporisateurs se partagent en deux groupes disposés suivant des tracés très différents : il y a d'abord, de chaque côté, une rangée de tubes en forme de V couché, étendant leur branche inférieure directement au-dessus du feu; puis, dans l'espace compris verticalement entre les deux réservoirs superposés, il y a un faisceau serré de tubes s'écartant peu de la verticale. Tous ces tubes aboutissent normalement aux parois cylindriques des réservoirs sur lesquels ils sont greffés. Par le moyen des intervalles qu'ils laissent entre eux ou, au contraire, de leur rapprochement en palissades jointives, les gaz de la combustion se trouvent chicanés et canalisés en trois parcours horizontaux successifs.

Chaudière Solignac. — La chaudière Solignac (fig. 130) est aussi un générateur à tubes de petit diamètre associés en quantité; mais, loin d'être disposés suivant une direction quasi-verticale, ces tubes sont essentiellement rampants : ils affectent chacun la forme d'un U couché, dont les branches sont seulement un peu divergentes. La branche du bas part de la chambre à eau, celle du haut aboutit dans la chambre à vapeur d'une même capacité collectrice.

Dans de pareilles conditions, pour que la vapeur qui se forme dans chacun des tubes ne se dégage pas par les deux bouts et pour qu'un régime pratiquement continu puisse s'établir, on use d'un artifice : on étrangle l'extrémité de la branche inférieure de l'U au moyen d'un diaphragme percé seulement d'un trou de faible diamètre; ce diaphragme est assujetti de manière à résister aux poussées qui tendraient à le chasser hors du tube. Qu'il y ait, dans la partie du tube la plus fortement chauffée, formation d'une masse de vapeur tendant à prendre son expansion dans les deux sens, l'expansion vers l'extrémité inférieure du tube rencontrera une résistance importante, ne pouvant avoir lieu qu'à la faveur d'un refoulement du liquide au travers du trou du diaphragme, tandis que l'expansion vers l'extrémité supérieure ne sera contrariée par aucune résistance notable. Lorsque le mouvement est orienté, il suffit d'ailleurs d'un léger excès de la pression de l'amont vers l'aval du diaphragme pour que le trou de celui-ci laisse passer le faible volume d'eau nécessaire à l'alimentation.

Le fonctionnement de cette chaudière est, comme on voit, la répétition en grand de l'expérience de M. Solignac dont nous avons déjà parlé.

Dans l'appareil que MM. Solignac, Grille et Cie exposent en service à l'usine La

Bourdonnais, le faisceau vaporisateur est partagé en trois éléments verticaux juxtaposés. Chaque élément correspond à 10 mètres carrés de surface de chauffe; il comprend 30 tubes vaporisateurs de 25 millimètres de diamètre, disposés sur six rangées horizontales et greffés sur la paroi plane d'un collecteur vertical. Au-dessus de l'ensemble des trois collecteurs verticaux, est un réservoir supérieur d'eau et de vapeur en forme de ballon cylindrique horizontal transversalement placé. Chaque collecteur est mis en communication avec ce ballon supérieur commun, pour l'eau par un tuyau partant du bas du ballon et aboutissant au bas du collecteur, pour la vapeur par un tuyau partant de la partie moyenne du collecteur et aboutissant au haut du ballon : c'est de la partie moyenne que part le tuyau de dégagement, afin que la partie supérieure du collecteur, dans laquelle les tubes vaporisateurs débouchent, reste toujours à l'état de chambre de vapeur.

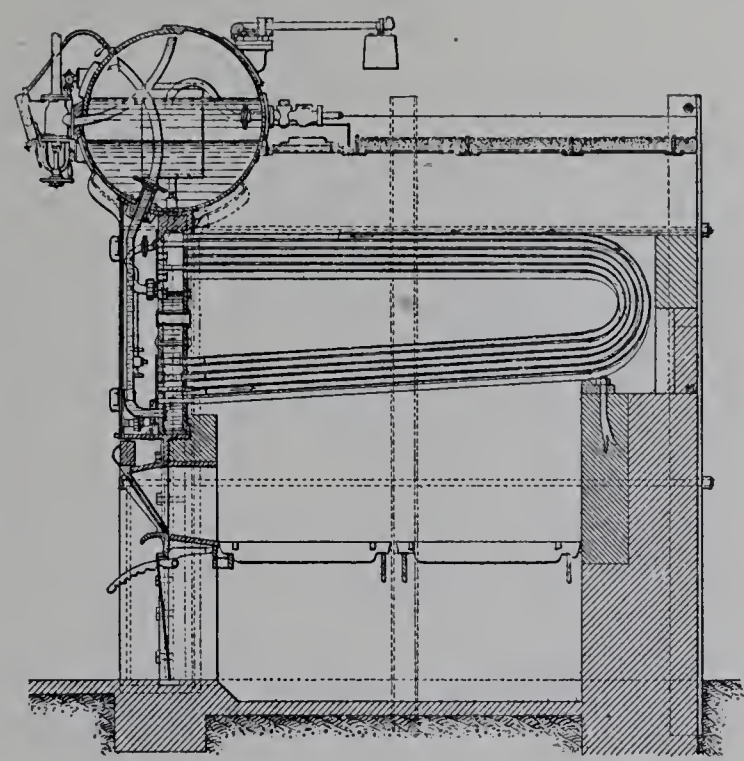


Fig. 130. — Chaudière de MM. Solignac, Grille et Cie.

L'alimentation de la chaudière a lieu dans le ballon supérieur. Un jeu d'obturateurs et de robinets permet de faire, de temps à autre, dans les tubes vaporisateurs, une chasse de vapeur en sens inverse du mouvement normal, afin d'en chasser les dépôts.

La grille mesure $1^{mq}92$, de sorte que les 30 mètres carrés de surface de chauffe ne donnent que 16 pour le rapport $\frac{S}{G}$. Des cloisons horizontales disposées sur chacune des deux branches de l'U chicanent les gaz.

Dans d'autres appareils du système Solignac, les collecteurs verticaux sont supprimés. Le ballon cylindrique transversal, qui constitue le réservoir général d'eau et de vapeur, est logé entre les branches de l'U formé par le faisceau tubulaire; les tubes se trouvent mis, à leurs extrémités, directement en communication avec la chambre d'eau et la chambre de vapeur de ce ballon. A cet effet, celui-ci porte deux appendices, en forme de caissons, sur lesquels aboutissent normalement les tubes. Une petite chaudière de ce type, destinée à la navigation, figure à la Classe 118.

V

CHAUDIÈRES VERTICALES.

§ 1er. Chaudières verticales à foyer extérieur.

Type primitif. — L'ancienne chaudière verticale à foyer extérieur, composée d'un simple corps cylindrique le long duquel s'élevaient les gaz du foyer, n'est plus guère qu'un souvenir, et un mauvais souvenir. C'est surtout dans les usines à fer, pour utiliser la chaleur des flammes sortant des fours à puddler, que ce type a été employé. L'appareil, logé pour ainsi dire dans la cheminée du four, tenait peu de place horizontalement; la grande masse d'eau qu'il renfermait le rendait peu sensible aux variations de la chauffe et aux intermittences de l'alimentation. C'était commode; il fournissait de la vapeur sans qu'on eût à s'en occuper. Mais, précisément, on ne s'occupait pas assez de lui donner les soins nécessaires; enfermé dans une haute tour de maçonnerie, il ne pouvait facilement être visité et, en fait, il ne l'était guère. Les tôles, corrodées et altérées par les coups de feu résultant du travail du four, se montrèrent sujettes à des accidents dont les conséquences furent parfois terribles : les catastrophes de Marnaval et d'Eurville justifient le discrédit dans lequel ce système est tombé.

Chaudière Climax. — Des chaudières verticales à foyer extérieur sont cependant employées en Amérique sur une échelle importante, mais elles sont différemment disposées. L'annexe de Vincennes en possède deux de grandes dimensions, qui fournissent la vapeur motrice à la belle exposition de machines-outils des États-Unis. Le type est rajeuni et transformé par la substitution, à la simple surface de chauffe cylindrique, d'une surface de chauffe composée d'une multitude de tubes d'eau ingénieusement imbriqués. On conserve un corps vertical, occupant l'axe du système dont il forme pour ainsi dire le noyau : mais la paroi de ce corps est évidée en plaque tubulaire et toute hérissée de tubes vaporisateurs.

Des appareils établis sur ce principe avaient été, il y a une vingtaine d'années, essayés en France sans trouver grande faveur auprès des industriels; les tubes, dans ce type ancien, étaient piqués par un bout sur le corps cylindrique et fermés à l'autre bout. Dans le moderne *hérisson* d'Amérique, on a soin de ne pas disposer les tubes en cul-de-sac. Chacun d'eux est greffé sur le corps de chaudière par ses deux extrémités. Il part normalement de l'un des trous de la plaque tubulaire cylindrique, s'infléchit parallèlement à cette plaque tout en s'élevant suivant une pente régulière, de telle sorte qu'une partie de son tracé est un arc d'hélice ayant même axe que le corps cylindrique, puis il s'infléchit de nouveau pour se rapprocher de celui-ci, sur lequel il aboutit normalement, s'insérant, par son extrémité supérieure, dans un trou situé plus haut et dans un autre azimut que celui du point de départ. Tous les trous de

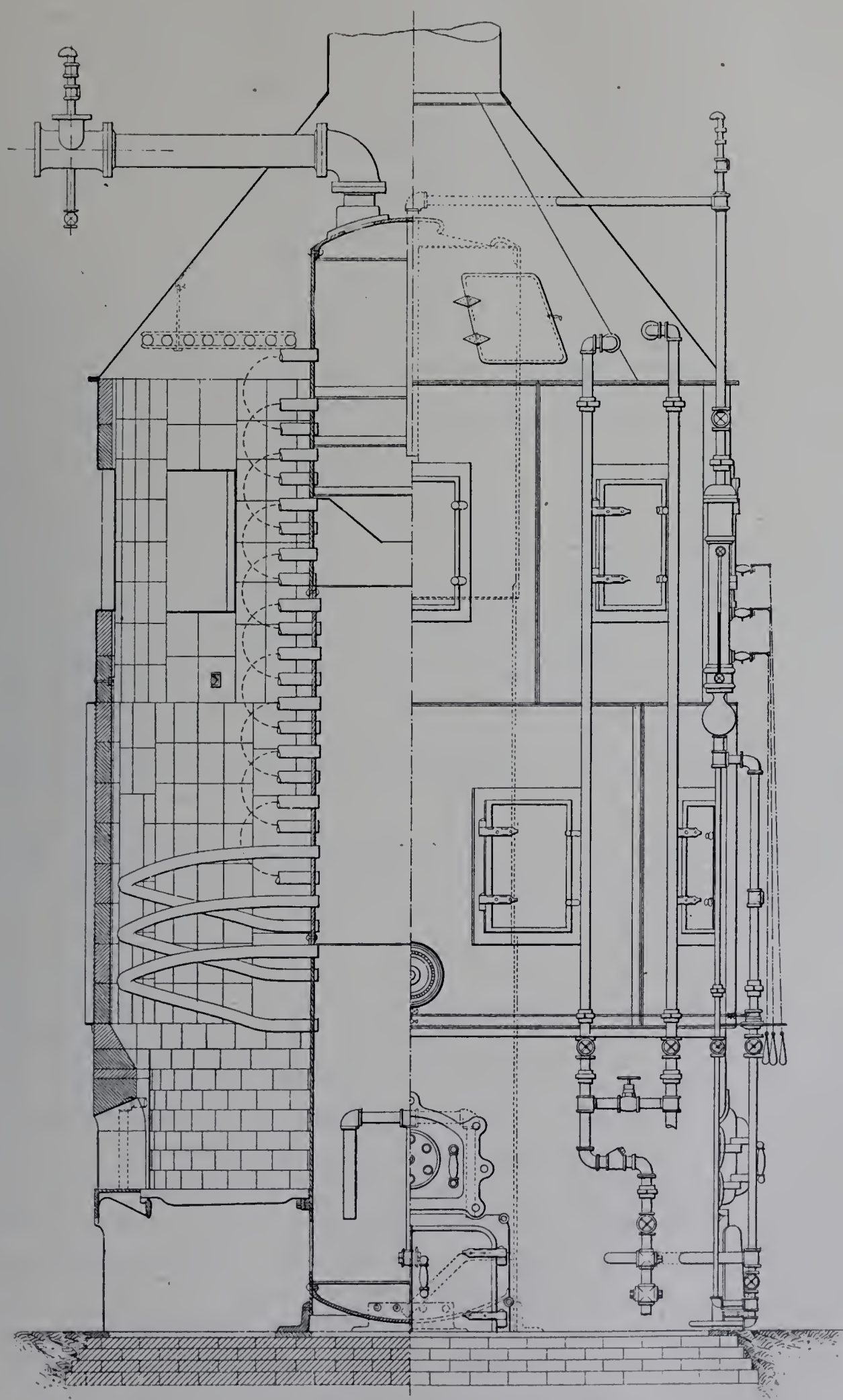


Fig. 131. — Chaudière *Climax*. Demi-coupe verticale et demi-élévation.

la plaque tubulaire cylindrique sont ainsi reliés deux à deux par des tubes vaporisateurs de même forme.

Au ras de la plaque, c'est un quinconce de tubes piqués normalement; à une certaine distance, c'est une série d'arcs d'hélice se juxtaposant et se faisant suite, dont l'ensemble dessine un cylindre parallèle à la plaque tubulaire. Le corps central se trouve ainsi enveloppé d'un système hélicoïdal de tubes, offrant à l'action des gaz qui s'élèvent le long de l'appareil une surface de chauffe fort développée.

Tel est le système du *Morrin Climax boiler,* qui se prête à l'établissement d'unités considérables. A l'Exposition universelle de Chicago, en 1893, il y en avait d'une puissance de 500 à 1,000 chevaux. Les deux exemplaires que la Clonbrostetk steam boiler C°, de Brooklyn, a installés à l'annexe de Vincennes (fig. 131) ne sont pas aussi gigantesques; c'est cependant encore un modèle respectable pour un générateur vertical : chaque unité, établie pour une puissance de 250 chevaux, offre 230 mètres carrés de surface de chauffe, avec une surface de grille de $5^{mq}50$ $\left(\frac{S}{G} = 42\right)$. Le corps cylindrique, de $1^{m}10$ de diamètre et $5^{m}50$ de hauteur, est environné de tubes vaporisateurs de 6 centimètres de diamètre, faisant tout autour de lui une saillie d'un mètre. L'eau s'élève aux deux tiers de la hauteur de l'appareil. La chambre d'eau est sans cloisonnement; aucune disposition particulière n'est prise pour forcer la circulation du liquide dans les tubes correspondant à cette partie. Dans la partie supérieure, formant chambre de vapeur, les tubes ont à jouer le rôle de sécheurs de vapeur et, pour assurer la circulation nécessaire, des cloisonnements horizontaux sont interposés dans le corps cylindrique, divisant ce corps en tranches que les tubes mettent en communication de l'un au suivant.

L'appareil est chauffé par quatre foyers latéraux. Le corps cylindrique est prolongé vers le bas jusqu'à un niveau inférieur à celui des grilles, pour former collecteur de dépôts.

§ 2. Chaudières verticales à foyer intérieur.

Caractères généraux. — En Europe, c'est surtout avec le foyer intérieur que la chaudière verticale a droit de cité dans la pratique industrielle. Un corps cylindrique vertical, non chauffé, servant d'enveloppe à un foyer dont la forme est également celle d'un cylindre vertical, co-axial au premier; entre le foyer et l'enveloppe, une lame d'eau cylindrique, interrompue pour le passage de l'ouverture de chargement; sur le ciel du foyer, une couche d'eau suffisamment épaisse pour que l'alimentation soit assez facile à régler; l'enveloppe cylindrique assez haute pour laisser, au-dessus du niveau de l'eau, la place d'une chambre à vapeur de capacité convenable : ce sont là les linéaments généraux d'une série de types largement usités pour les appareils de levage et de déchargement, les engins transportables, etc. La disposition verticale tient peu de place; le chauffage exclusivement intérieur convient pour les appareils mobiles.

Il ne peut s'agir ici que de générateurs d'une faible puissance, puisque la grille est nécessairement bornée à un cercle dont la grandeur est la section droite du foyer inté-

rieur : or, ce foyer, de forme cylindrique, pressé par l'extérieur, est déjà grand lorsqu'il mesure un mètre de diamètre.

La valeur de G se trouvant ainsi limitée, les variantes dont le système est susceptible ont surtout pour but d'assurer au rapport $\frac{S}{G}$ une valeur convenable et aux gaz chauds un brassage suffisant.

Chaudières à bouilleurs croisés. — Un premier procédé pour développer un peu la surface de chauffe et pour brasser les gaz consiste à disposer dans le foyer des bouilleurs transversaux. Il faut que ces bouilleurs puissent être nettoyés et vérifiés intérieurement : l'enveloppe cylindrique de la chaudière présente à cet effet, en regard de chacun d'eux, un orifice normalement fermé par un tampon autoclave.

Ce type, depuis longtemps classique, est construit en France par des maisons de bonne et ancienne réputation. MM. Meunier, de Fives-Lille, en exposent un exemplaire (fig. 132).

Système Schuchow. — En diminuant le diamètre et multipliant le nombre des tubes transversaux, on peut accentuer davantage l'augmentation de la surface de chauffe. Mais la difficulté est de rendre ces tubes accessibles au nettoyage et à l'inspection intérieure. Si, au lieu de quelques bouilleurs, il y a un jeu de tubes vaporisateurs proprement dits traversant le foyer, on ne peut songer à percer l'enveloppe d'un trou d'autoclave en face de chacun d'eux. Le système Schuchow fournit à M. Alexandre Bary, de Moscou, une solution intéressante : le foyer est traversé par des tubes groupés en un petit nombre de faisceaux, qui s'étagent en s'entrecroisant comme feraient des bouilleurs; il suffit, en regard de chaque faisceau, d'une porte autoclave du genre de celles déjà décrites à propos de la chaudière à tubes d'eau proprement dite du même constructeur. Chaque faisceau comprend 14 tubes de 5 centimètres de diamètre; il se compose en réalité de deux groupes juxtaposés de 7 tubes chacun, le groupe étant formé d'un tube central entouré

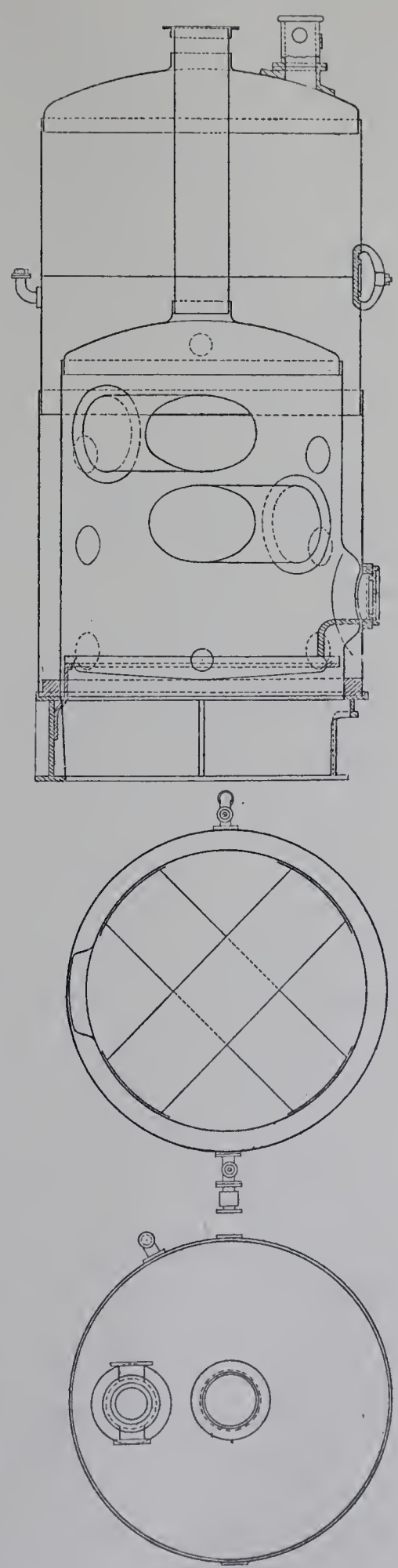


Fig. 132.
Chaudière verticale à bouilleurs croisé.
(MM. Meunier et Cie.)

IMPRIMERIE NATIONALE.

de 6 autres. Le foyer, en tôle soudée, est, d'une manière générale, à section circulaire; mais il présente des bossages plats obtenus par emboutissage pour recevoir normalement chaque faisceau de tubes parallèles. La chaudière exposée a dans son foyer quatre faisceaux étagés de tubes vaporisateurs; elle offre $12^{mq}50$ de surface de chauffe; son timbre est de 8 kilogrammes.

D'autres constructeurs ont recours, pour assurer le nettoyage et la visite des tubes, à des combinaisons différentes. On sait que dans le type Rowan, où deux faisceaux de tubes vaporisateurs s'entrecroisent par rangées horizontales alternées, on a rendu amovible, au moyen d'un grand joint boulonné, toute la partie supérieure de l'enveloppe du générateur

Chaudières à tubes pendentifs. — Au lieu de disposer des tubes bouilleurs transversalement dans le foyer, on peut y suspendre verticalement des tubes à circulation intérieure. Ceux-ci sont amovibles et faciles à remplacer. C'est la chaudière Field et ses variantes, système très ancien et fort répandu.

Le foyer se termine vers le haut par un ciel horizontal, interrompu par un orifice circulaire qui sert de départ à la cheminée intérieure. Ce ciel est percé autour de la cheminée d'une ou plusieurs couronnes de trous où viennent s'assembler les tubes pendentifs. A la différence des plaques tubulaires qui reçoivent des tubes ouverts aux deux bouts, ces évidements ne réduisent en aucune façon la pression totale sur le ciel; mais, comme il ne s'agit que d'appareils de dimensions modestes, la résistance est suffisante parce que le ciel est fait d'une tôle épaisse et relié par la cheminée au fond supérieur du corps cylindrique. Les trous sont coniques et les tubes s'y assemblent par des bagues de même forme. Il suffit de quelques coups de maillet pour assujettir le joint. Les bagues doivent être calibrées de manière à offrir, en même temps que l'étanchéité indispensable, toute garantie de résistance contre la pression qui tend à les chasser au travers des trous.

A l'intérieur de chaque tube pendentif est disposé un tube de circulation en métal mince, suspendu par le haut à l'aide d'oreilles, de manière que son extrémité inférieure ne touche pas le fond du tube vaporisateur. La circulation permanente que l'on se propose de réaliser comporte l'ascension de la vapeur et d'une certaine quantité d'eau dans l'intervalle annulaire compris entre les deux tubes et la descente, par le tube central, de l'eau de renouvellement. Il convient, pour la régularité de cette circulation, que la vapeur débouchant de l'espace annulaire aille se dégager au sommet de la couche d'eau sans risquer d'être entraînée de haut en bas dans le tube axial. La solution imaginée par Field consiste à coiffer chaque tube de circulation d'un entonnoir.

M. Armand Girard prolonge le tube de circulation sans l'évaser, jusqu'à une hauteur de $0^{m}30$ à $0^{m}50$ au-dessus de la plaque tubulaire. Ce constructeur est, depuis de longues années, fabricant de ce genre de chaudières. Il en présente deux à l'Exposition, offrant l'une 20 mètres carrés, l'autre 6 mètres carrés seulement de surface de chauffe. Les tubes pendentifs mesurent 6 centimètres de diamètre. Leur extrémité inférieure se termine par un culot épais, formé exclusivement à la forge en rétreignant le tube.

Un détail intéressant de la construction de ces appareils est relatif au gueulard de chargement (fig. 133). Dans la construction ancienne et classique, l'ouverture du gueulard est entourée d'un cadre en fer forgé : une couronne de rivets relie ensemble la tôle de l'enveloppe, le cadre et la tôle du foyer. Par conséquent celle-ci, au pourtour de l'ouverture, n'est pas baignée par la lame d'eau, mais se trouve en contact avec une masse métallique à faible capacité calorifique. Elle souffre particulièrement des alternatives de chauffage intense et de rentrées d'air froid; on y voit presque fatalement apparaître des cassures de chanfrein à rivet. Dans la construction moderne, le cadre est souvent remplacé par une simple doublure de tôle, la paroi du foyer étant emboutie de manière à se rapprocher de la tôle d'enveloppe autour de l'ouverture; cette disposition laisse encore la rivure exposée à des vicissitudes de chauffe et de refroidissement. M. Armand Girard, toutes les fois que le gueulard n'a pas à recevoir de trop grandes dimensions, supprime le cadre et cependant laisse aux deux tôles leur écartement normal jusqu'au bord de l'ouverture. A cet effet, il les relie l'une à l'autre, à petite distance de celle-ci, par une couronne d'entretoises. Puis il loge dans l'embrasure un anneau de cuivre, qui une fois en place est soigneusement maté contre chacune des tôles avec formation d'un bourrelet extérieur. Cet ensemble de dispositions assure la résistance et l'étanchéité tout en laissant l'eau exercer son action préservatrice sur la tôle du foyer jusqu'au bord même de l'ouverture, ainsi que sur l'anneau de cuivre. Une pièce de protection met d'ailleurs ce dernier à l'abri du frottement des outils de chauffe.

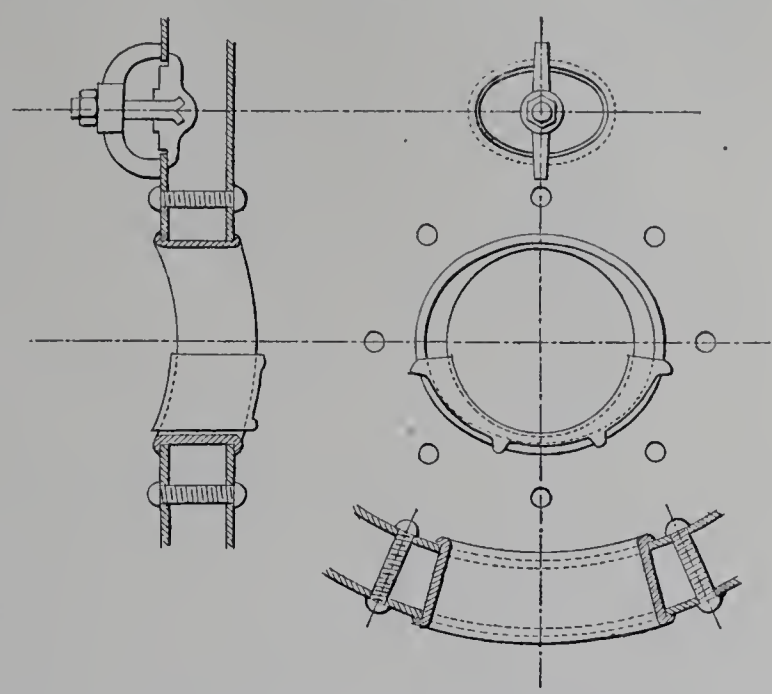


Fig. 133. — Ouverture de chargement d'une chaudière verticale à foyer intérieur. (A. Girard.)

MM. Meunier et Cie exposent une grande chaudière Field de 40 à 50 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 8 kilogrammes et destinée à utiliser les flammes perdues d'un four métallurgique. Le foyer de la chaudière est partagé en deux par une cloison verticale de briques réfractaires; les gaz venant du four s'élèvent d'un côté pour redescendre de l'autre en deuxième parcours.

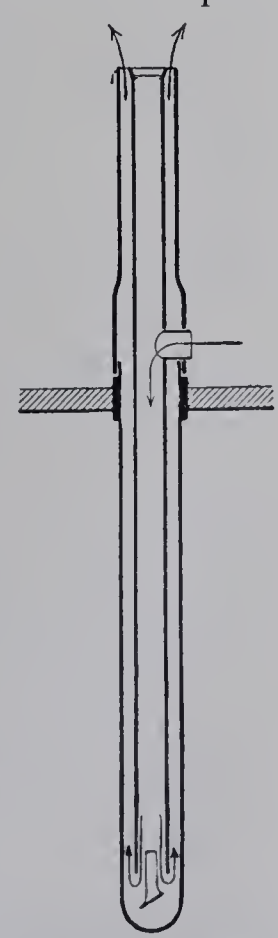


Fig. 134. — Dispositif de M. Montupet (tubes Field).

M. Antonin Montupet s'est proposé de régulariser, mieux que par les entonnoirs de Field ou par le prolongement vertical des tubes centraux, le dégagement de la vapeur et la circulation du liquide. Il a exposé ses idées à ce sujet dans une

communication au Congrès de mécanique appliquée[1]. D'une part, l'extrémité inférieure de chaque tube, plongée en plein feu, étant le siège d'une transmission de chaleur extrêmement active, il craint que la vapeur qui s'y forme ne tende à monter par le tube central aussi bien que par l'espace annulaire. C'est pourquoi il dispose à l'intérieur du tube vaporisateur, au-dessous du débouché inférieur du tube central, un petit écran oblique, destiné à rejeter sur le côté les bulles s'élevant suivant l'axe (fig. 134). D'autre part, il critique la disposition qui place le dégagement de la vapeur au ras de la plaque tubulaire, c'est-à-dire au bas de la couche d'eau, et qui puise l'eau de renouvellement dans la région supérieure de cette couche, là où le liquide est mélangé de la totalité de la vapeur formée dans l'appareil. Il est vrai que l'extrémité, évasée ou non, des tubes de circulation, étant tournée vers le haut, est plus facilement accessible au liquide qui forme remous qu'aux bulles de vapeur qui tendent à s'élever. Quoi qu'il en soit, M. Montupet parvient à inverser les niveaux du dégagement de vapeur et de la rentrée d'eau en coiffant le tube vaporisateur d'une allonge, dans laquelle se trouve fixé le tube de circulation, et qui reporte le débouché de l'espace annulaire au voisinage de la surface libre du liquide; quant à l'alimentation du tube intérieur, elle se fait par côté, au niveau du bas de l'allonge, au moyen d'une tubulure latérale traversant l'espace annulaire (fig. 134 et 135).

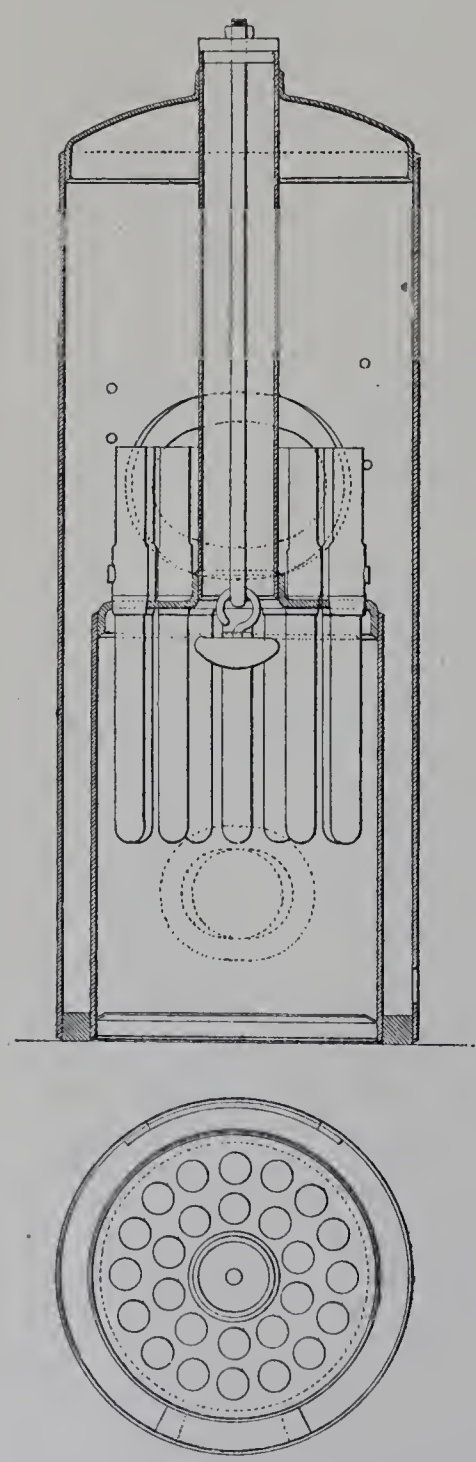


Fig. 135. — Ensemble d'une chaudière Field, système Montupet.

On a vu plus haut que M. Borrot, dans sa chaudière en X, a eu recours aussi à l'alimentation latérale du tube de circulation.

Chaudières verticales à tubes de fumée. — Un moyen de développer la surface de chauffe d'une chaudière verticale à foyer intérieur consiste à disposer au-dessus du ciel du foyer, au lieu d'une cheminée unique, un jeu de tubes à fumée.

Les proportions de l'appareil ont à être réglées en conséquence : le foyer, dont l'intérieur reste libre, doit avoir les dimensions voulues pour que les gaz ne soient pas éteints prématurément par leur entrée dans les tubes; ceux-ci doivent offrir le développement de surface nécessaire au rendement et l'eau doit les baigner jusqu'à une hauteur suffisante au-dessus du ciel du

[1] *Congrès international de Mécanique appliquée*, t. III, p. 73 et suiv.

foyer pour les garantir contre tout risque de surchauffe. Ces conditions conduisent à donner au corps cylindrique beaucoup de hauteur par rapport au diamètre, ce qui veut dire que le type ne s'applique commodément qu'à des appareils d'une surface de grille modeste. Les chaudières verticales à tubes de fumée sont, depuis longtemps, employées avec succès comme générateurs d'engins mobiles, d'appareils de levage en particulier; mais elles ne sont guère usitées que pour ces applications spéciales et nous n'avons ici aucun spécimen du système à signaler.

VI

RÉCHAUFFEURS D'EAU D'ALIMENTATION.

L'utilité des réchauffeurs d'eau d'alimentation, appréciée de tout temps, n'est pas devenue moindre, depuis qu'aux anciennes chaudières à grande capacité se sont substitués, en proportion croissante, les types modernes. Si ceux-ci donnent moins de perte par rayonnement extérieur, ils ne dépouillent pas les gaz de leur chaleur plus complètement que leurs devanciers.

Quel que soit d'ailleurs le système de la chaudière proprement dite, il y a une limite absolue imposée à l'abaissement de la température des gaz au contact des parois de celle-ci : c'est la limite résultant de l'écart nécessaire de température entre les gaz et l'eau. Pour que la transmission de chaleur conserve une activité suffisante, on ne peut guère réduire cet écart à moins de 100 degrés. Si le contenu du générateur est à une température uniforme comprise entre 164 degrés (ce qui correspond à la pression de 6 kilogrammes par centimètre carré) et 200 degrés (pression de 15 kilogrammes), c'est pour les gaz une température nécessaire de 250 à 300 degrés. La limite monte légèrement, comme on voit, à mesure que le timbre s'élève, ce qui est le cas des générateurs d'aujourd'hui.

Ce raisonnement suppose, il est vrai, toute l'eau de la chaudière à une température uniforme. Il en serait différemment si l'on faisait cheminer les gaz et l'eau en sens inverse, de manière à réaliser un chauffage méthodique dans la chaudière même. Mais cette solution ne doit pas être recherchée; une raison de sécurité s'y oppose, parce que c'est en mettant les gaz les plus chauds au contact des parties de la chaudière les plus basses que l'on réduit au minimum la probabilité et la gravité des explosions par manque d'eau.

Pour achever de dépouiller les gaz de leur chaleur utilisable, on est donc conduit à interposer sur leur trajet un réchauffeur. La succession du générateur et du réchauffeur, l'un placé à l'amont, l'autre à l'aval par rapport à la progression des gaz, constitue une application du principe du chauffage méthodique. Mais, en outre, les gaz sont déjà assez refroidis, lorsqu'ils quittent la chaudière, pour que le réchauffeur puisse être disposé systématiquement suivant ce même principe, c'est-à-dire parcouru par l'eau en sens inverse du mouvement de la masse gazeuse; ce qui permet, tout en conservant

partout un écart de température suffisant pour l'efficacité de la surface de chauffe, de pousser le refroidissement jusqu'à la limite compatible avec un tirage convenable.

Il peut en résulter une économie fort notable. Si, par exemple, à partir d'une température initiale de 1,000 degrés, les gaz sont refroidis jusqu'à 300 degrés sans réchauffeur et jusqu'à 200 degrés avec réchauffeur, l'addition de celui-ci accroît de 14 p. 100, sinon la chaleur utilisée, du moins la somme de la chaleur utilisée e de la chaleur perdue par rayonnement extérieur.

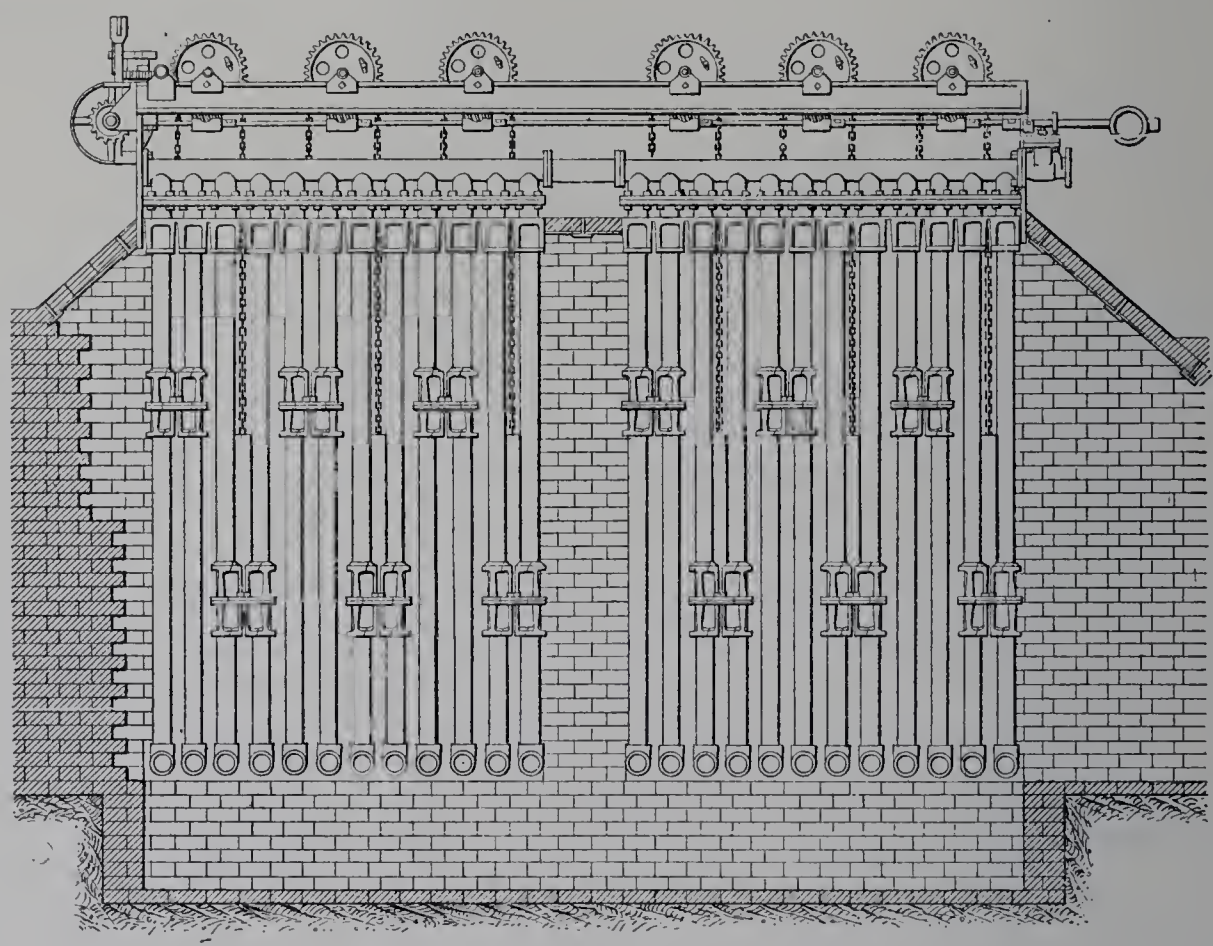


Fig. 136. — Économiseur Green. Coupe longitudinale.

Les anciens bouilleurs réchauffeurs, larges cylindres de $0^m 60$ à $0^m 80$ de diamètre, sont généralement délaissés : leur surface de chauffe est médiocre par rapport à leur encombrement et à la surface de rayonnement de leurs maçonneries; leur entretien est pénible et assujettissant, à raison des corrosions actives subies par leurs tôles au contact des fumées froides; enfin il n'est pas facile de ramoner le dépôt de suie, essentiellement nuisible à l'efficacité d'un réchauffeur. Pourtant la chaudière cylindrique à trois foyers intérieurs, installée par M. Ewald Berninghaus à l'usine Suffren, comporte, comme nous l'avons vu, deux réchauffeurs cylindriques suspendus à droite et à gauche dans la partie supérieure du fourneau.

C'est maintenant au moyen d'un jeu de tubes parcourus par l'eau à chauffer que l'on constitue presque toujours les appareils de cette espèce. On peut ainsi développer considérablement la surface de chauffe dans un espace restreint, prêtant relativement peu aux déperditions de chaleur extérieures; la construction est facilitée, les réparations sont ramenées à des remplacements de tubes; ceux-ci peuvent être faits

d'un métal rebelle à la corrosion. Enfin les avaries qui surviendraient ne porteraient jamais que sur de petits éléments.

Un certain nombre de constructeurs de chaudières à tubes d'eau annexent à leurs

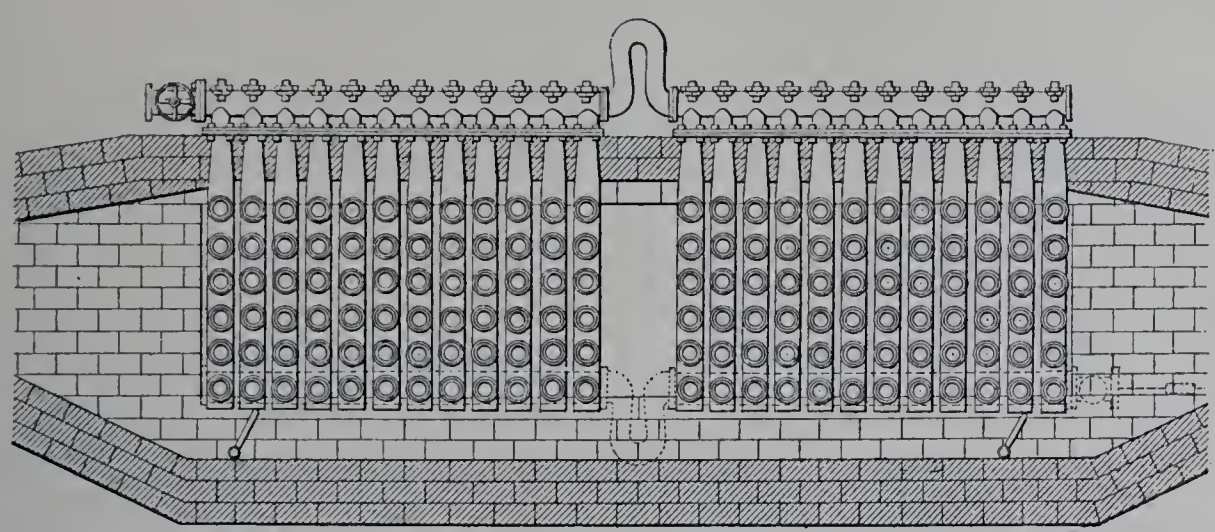


Fig. 137. — Plan.

appareils des serpentins réchauffeurs, formés de tubes dont le système de connexion est analogue aux joints de la chaudière elle-même. C'est ainsi qu'un réchauffeur fait maintenant partie intégrante du type Belleville; formé d'un jeu d'éléments en serpentin, d'un diamètre plus petit que les éléments vaporisateurs, il est placé soit à l'arrière de celui-ci, dans les installations où la place ne manque pas, soit au-dessus, comme dans l'appareil représenté par les figures 58 et suivantes, soit même au-dessous dans certains cas.

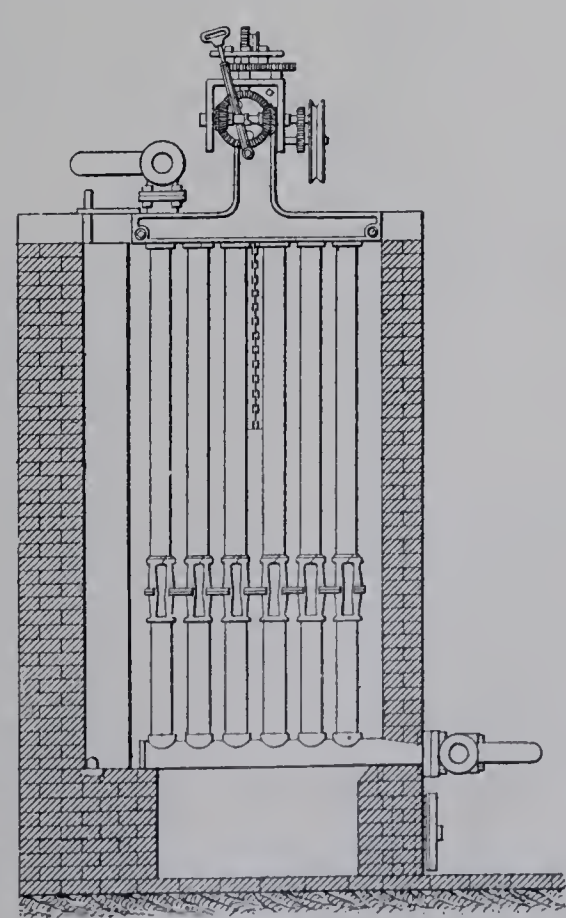


Fig. 138. — Coupe transversale.

Dans toute combinaison de ce genre, le rapport des surfaces de chauffe de la chaudière et du réchauffeur doit être judicieusement choisi à raison des températures qui en résultent pour l'eau et pour les gaz au passage de l'un à l'autre des faisceaux tubulaires; il peut y avoir avantage à développer le plus possible le chauffage méthodique que procure le réchauffeur, mais il faut se préoccuper avant tout du point de formation des dépôts. L'addition des réchauffeurs au système Belleville a permis de réduire de 9 à 7, en général, le nombre des fourches composant chacun des serpentins vaporisateurs.

Les appareils de Naeyer, en fonctionnement dans les deux cours La Bourdonnais et Suffren, sont munis de réchauffeurs placée à l'arrière et rappelant les générateurs eux-mêmes par leur mode général de construction.

Nous avons parlé ci-dessus du réchauffeur surmontant le faisceau vaporisateur dans l'un des types exposés par M. Montupet.

Économiseurs Green. — La Cie E. Green and sons, de Manchester, s'est fait une remarquable spécialité de la construction de réchauffeurs ou *économiseurs*, commodes à installer de toutes pièces à la suite d'un système quelconque de chaudières et permettant, dans les grandes installations fixes, de pousser le refroidissement des gaz aussi loin qu'il est pratiquement possible de le faire (fig. 136 à 140). Afin d'éviter la corrosion extérieure par les fumées froides, ces appareils sont en fonte : la modération du chauffage et la disposition des surfaces de chauffe, composées de tubes de $0^{m}12$ de diamètre, permettent l'emploi de ce métal; il s'agit d'ailleurs d'une fonte de qualité supérieure, coulée avec les soins voulus pour que les pièces soient parfaitement saines et d'épaisseur régulière. Les tubes, de $2^{m}70$ de longueur, sont disposés verticalement; ils sont réunis par groupes de 4 à 10 en quantité, au moyen de collecteurs horizontaux placés en haut et en bas; ces collecteurs sont eux-mêmes connectés de manière à assurer à l'eau la circulation convenable. Les collecteurs présentent, en regard de chaque tube, un orifice de nettoyage; ces orifices étaient fermés, dans les appareils anciens, au moyen de couvercles assujettis par des boulons; mais MM. Green ont constitué maintenant un type de collecteurs avec bouchons autoclaves (fig. 139).

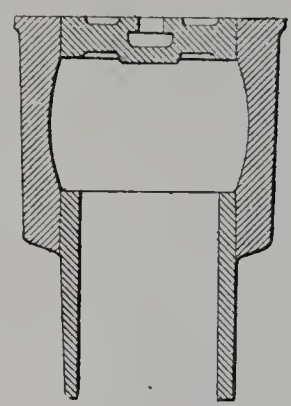


Fig. 139. — Économiseur Green. Bouchon autoclave.

Un obstacle sérieux à l'efficacité des réchauffeurs est le dépôt de suie qui ne tarde pas à recouvrir la surface de chauffe. Les économiseurs sont munis de râcloirs automatiques qui vont et viennent le long de tubes et auxquels un mouvement lent est continuellement donné au moyen d'une transmission mécanique (fig. 140); ce ramonage automatique rejette la suie dans un cendrier inférieur.

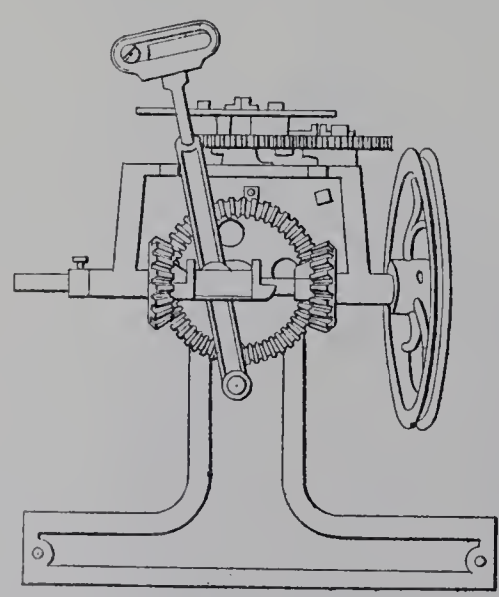


Fig. 140. — Mécanisme de commande du ramonage.

Les conduits de fumée sont disposés de manière que les gaz chauds puissent être à volonté dirigés sur l'économiseur ou envoyés directement des générateurs à la cheminée; on est donc maître d'isoler l'économiseur pour le nettoyage intérieur ou les réparations.

MM. Green présentent à l'Exposition un modèle de leur type.

M. Julien Lemoine, de Hallines (Pas-de-Calais), expose un économiseur rappelant le système Green par sa disposition générale.

VII

SURCHAUFFEURS DE VAPEUR.

La question de la vapeur surchauffée n'était pas dans un état brillant en 1889. « Au point de vue économique, écrivait alors M. J. Hirsch [1], la vapeur surchauffée présenterait des avantages incontestables qui ont été démontrés par la théorie et vérifiés dans des expériences célèbres; il est certain qu'une machine fonctionnant à la vapeur surchauffée consommerait moins de vapeur pour produire un même travail; qu'on pourrait, sans diminuer le rendement, la débarrasser des chemises de vapeur, organes lourds, coûteux, encombrants, dont, avec la vapeur saturée, on est presque obligé d'affubler les cylindres. Malgré tout, la vapeur surchauffée est de moins en moins en usage; si le système, si séduisant en théorie, a jusqu'ici échoué dans la pratique, les raisons en sont toujours les mêmes : on a à redouter les grippements; c'est encore la difficulté des joints et du graissage qui fait obstacle à la solution; le fluide chaud et sec brûle les lubrifiants, pour peu que le degré de surchauffe dépasse certaines limites fort étroites; et il s'écarte nécessairement de ces limites dans les irrégularités inévitables d'allure, soit de la machine, soit du foyer. »

Aujourd'hui, comme nous aurons l'occasion de le redire en parlant des machines, on est beaucoup mieux à même qu'autrefois d'utiliser la vapeur à haute température. On dispose d'huiles minérales qui ne s'enflamment qu'au-dessus de 400 degrés; l'étoupe des anciennes garnitures est remplacée par de l'amiante ou par des garnitures métalliques; ajoutons l'expérience acquise par un nombre croissant de constructeurs dans l'établissement des distributions par soupapes; bref, on sait mettre le récepteur en état de profiter des avantages de la surchauffe. C'est du côté du surchauffeur que les obstacles ne sont peut-être pas encore tous entièrement surmontés.

Il reste difficile, dans les conditions pratiques de l'industrie et sans compliquer le service, de communiquer à la vapeur un degré de surchauffe constant.

Chose singulière et qui, au premier abord, peut sembler paradoxale, cette difficulté provient en partie de ce que la vapeur est facile à surchauffer : facile en ce sens qu'il suffit, pour élever sa température, d'une petite quantité de chaleur, sa capacité calorique à pression constante n'atteignant que 0.48 environ. C'est pourquoi les inégalités inévitables d'allure, soit de la machine, soit du foyer, pour reprendre les expressions de M. Hirsch, prennent aisément une influence excessive sur le fonctionnement d'un surchauffeur.

Cette influence est d'autant plus grande que la masse de vapeur contenue dans le surchauffeur est moindre. Or, on est conduit à composer cet appareil de capacités fort

[1] Exposition universelle internationale de 1889. — *Rapports du jury international.* — Classe 52. Rapport de M. Hirsch, p. 38.

étroites, surtout lorsqu'il s'agit de produire de la haute surchauffe : d'abord par raison de sécurité, attendu qu'il serait dangereux de donner de larges sections à des pièces sur lesquelles agissent des causes de détérioration particulièrement actives ; ensuite parce que la vapeur n'a pas grande conductibilité et qu'il faut, par suite, l'exposer sous faible épaisseur à l'action des parois chauffantes, sous peine d'avoir à élever exagérément la température de ces parois et des gaz servant de source de chaleur.

Le degré de surchauffe que l'on se propose d'assurer au fluide à son entrée dans la machine varie dans une assez large mesure, suivant les idées qui président à son utilisation. Il y a tout d'abord la surchauffe légère, celle qui ne dépasse pas une cinquantaine de degrés au-dessus de la température de saturation. Son principal effet est de prévenir la condensation dans la tuyauterie. Vient ensuite la surchauffe moyenne, calculée de manière à assurer à la vapeur une température de 200 à 300 degrés à l'entrée dans la machine. C'est ce que préconisent les ingénieurs qui veulent profiter franchement de la surchauffe, mais qui, partisans des améliorations progressives, cherchent à élever le rendement des machines actuelles sans en bouleverser la construction. Tant que la température à l'admission ne dépasse pas les environs de 250 degrés, les procédés de lubrification perfectionnés et les garnitures incombustibles suffisent pour assurer le fonctionnement régulier des bonnes machines usuelles, même de celles à organes de distribution glissants. C'est ce qu'ont démontré notamment de nombreux essais effectués par l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. Mais c'est naturellement avec les distributions par soupapes qu'on a le plus de marge et de facilité. On utilise aisément la température de 300 degrés.

La reprise, sous cette forme, du mouvement d'idées favorable à la surchauffe remonte à 1890 ; elle a trouvé, principalement en Allemagne et dans les pays voisins, une faveur qui va croissant.

D'autres novateurs sont plus hardis. Ils proposent des dispositions franchement spéciales pour les machines, estimant que, si l'on veut tirer de la surchauffe tous les avantages dont elle est susceptible, on doit approprier à l'état nouveau du fluide évoluant la construction du récepteur. M. W. Schmidt, d'Aschersleben (Saxe), a été, depuis 1893, le chef de cette école qui préconise la plus haute surchauffe compatible avec la conservation de l'huile minérale, c'est-à-dire les températures de 300 à 400 degrés.

Quoi qu'il en soit, le surchauffeur peut être un appareil annexe de la chaudière à vapeur et chauffé par le même foyer qu'elle; ou bien il peut être à foyer indépendant. La première solution, lorsqu'elle est réalisable, doit généralement être préférée; on estime que, pour l'obtention d'une surchauffe modérée, l'addition d'un surchauffeur judicieusement installé et bien entretenu ne doit pas accroître d'une manière sensible la consommation de combustible de la chaudière pour une même production de vapeur ; dans ces conditions, l'économie de vapeur due à la surchauffe constitue pratiquement un bénéfice net. Le surchauffeur à foyer indépendant ajoute au contraire nécessairement sa consommation de combustible à celle des générateurs.

Toutefois, le surchauffeur à foyer indépendant a l'avantage d'un réglage plus

facile. Il peut d'ailleurs arriver que son emploi s'impose, lorsque les générateurs ne peuvent pas être placés au voisinage de la machine. La surchauffe, qui s'acquiert par l'addition d'un petit nombre de calories, se perd en effet (c'est une contre-partie nécessaire) avec la même facilité; il est donc impossible, quelque soin que l'on prenne de bien envelopper la tuyauterie, de faire voyager loin la vapeur désaturée. Outre qu'il faudrait, pour qu'elle conservât à l'arrivée un degré suffisant de surchauffe, forcer outre mesure la température initiale, le refroidissement le long de la canalisation varierait avec la vitesse d'écoulement et avec l'état de l'atmosphère extérieure : ce serait, dans le fonctionnement du système, une nouvelle cause d'instabilité.

La transmission de chaleur s'opère, au travers des parois d'un surchauffeur, dans des conditions bien différentes de celles qui caractérisent le fonctionnement d'une chaudière. Tandis que la tôle de celle-ci, baignée d'eau sur l'une de ses faces, se trouve maintenue par la conductibilité du liquide à une température relativement basse, le métal du surchauffeur est compris entre deux fluides aériformes et prend une température à peu près moyenne entre les leurs. Il ne faut donc pas exposer l'appareil à des gaz trop chauds. Comme le réchauffeur, quoique pour une raison toute différente, le surchauffeur annexé à une chaudière doit donc être placé dans les derniers parcours du gaz, si cette situation suffit pour communiquer à la vapeur la surchauffe que l'on a en vue. Malgré tout, c'est une classe d'appareils dont l'oxydation plus ou moins rapide est à prévoir; leur construction doit être réglée en conséquence.

La plupart des constructeurs de chaudières à tubes d'eau ont constitué, pour servir de complément à ces appareils, des systèmes surchauffeurs qu'ils logent, en général, dans l'espace compris entre le faisceau incliné des tubes vaporisateurs et le réservoir du haut. Si la chaudière, par elle-même, est susceptible de fournir de la vapeur humide, c'est tout d'abord un moyen de la sécher. Parfois un semblable sécheur fait normalement partie du type du générateur. Avec telle surface de chauffe, on n'a qu'un sécheur; avec une surface plus grande, une surchauffe plus ou moins accentuée succède au séchage de la vapeur.

Les générateurs Belleville sont munis d'un serpentin sécheur de vapeur formant plafond au sommet du fourneau. Pour lui faire jouer, en outre, le rôle de surchauffeur, on compose ce plafond, non plus d'un seul rang de tubes, mais de deux ou trois rangs superposés.

MM. Niclausse, pour produire de la vapeur désaturée, réservent le rôle de surchauffeurs à un certain nombre de tubes disposés comme les tubes vaporisateurs, mais constituant une section spéciale du faisceau.

D'autres constructeurs de générateurs à tubes d'eau établissent leurs surchauffeurs en tubes de très petit diamètre, suivant le principe des surchauffeurs Schmidt et analogues dont il sera parlé plus bas.

C'est ainsi que MM. Steinmüller, par exemple, disposent à la partie supérieure du fourneau un jeu de longs et étroits tubes en U, associés en quantité et greffés sur un collecteur à cloisons.

La Compagnie française Babcock et Wilcox expose un type de surchauffeur dont elle a muni les quatre générateurs alimentant les pompes Worthington, dans le pavillon du Service des eaux. C'est un jeu de tubes en acier étiré sans soudure, de 38 millimètres de diamètre; chacun d'eux affecte la forme d'un V couché; ils sont associés en quantité, leurs extrémités étant reliées par deux collecteurs transversaux, à section carrée, disposés horizontalement l'un au-dessus de l'autre. La vapeur saturée est amenée au collecteur du haut par deux tuyaux descendants, de 10 centimètres de diamètre, qui prennent origine dans la chambre à vapeur du corps supérieur. Deux autres tuyaux de même section, partant du collecteur du bas, emmènent vers la soupape de prise de vapeur le fluide surchauffé. La communication du corps supérieur avec le surchauffeur ne peut être interrompue, de sorte qu'une avarie de celui-ci mettrait nécessairement le générateur hors de service.

Une imperfection commune, en principe, aux divers systèmes que nous venons de décrire, est que l'action des gaz chauds sur les surchauffeurs ne peut être ni modérée indépendamment de la conduite générale du feu, ni supprimée à volonté. Il n'en résulte aucun inconvénient, tant qu'il ne s'agit que de simples sécheurs ou d'appareils à faible surchauffe; mais à mesure qu'on élève davantage au-dessus du point de saturation la température finale du fluide, on voit apparaître, de plus en plus impérieuse, la nécessité de régler à volonté le degré de surchauffe; en même temps, les surchauffeurs proprement dits étant placés dans une partie du fourneau où accèdent des gaz à température assez élevée, il devient indispensable de pouvoir, par un artifice spécial, les préserver de la détérioration durant les périodes de mise en pression de la chaudière, quand ils ne sont pas encore rafraîchis, en quelque mesure, par le passage de la vapeur.

La Compagnie Babcock et Wilcox, pour rendre la surchauffe modérable, greffe sur le corps supérieur de la chaudière un robinet de prise directe, au moyen duquel on envoie un filet de vapeur saturée, plus ou moins abondant, en mélange avec le fluide provenant du surchauffeur. D'autre part, en vue d'empêcher la détérioration de celui-ci quand l'appareil ne débite pas, ils disposent un tuyau spécial avec robinet, permettant de mettre le collecteur inférieur du surchauffeur en communication avec la partie basse du corps supérieur de la chaudière; par ce moyen, on emplit d'eau le surchauffeur jusqu'à l'établissement du régime normal. Cet artifice aurait l'inconvénient d'exposer le surchauffeur à la formation de dépôts, si l'eau du corps supérieur ne se trouvait pas suffisamment épurée.

A côté de ces systèmes particuliers à tel ou tel type de générateurs et se prêtant surtout, en général, à la production des faibles surchauffes, des spécialistes ont constitué des surchauffeurs susceptibles d'être ajoutés de toutes pièces aux installations quelconques, soit qu'on les loge dans la partie des carneaux dont la température correspond aux nécessités de leur fonctionnement, soit qu'on les chauffe au moyen de foyers séparés.

Ces surchauffeurs sont construits, soit en fonte spéciale, lorsqu'il ne s'agit de produire qu'une surchauffe modérée, soit en acier.

En fonte, pour surchauffe modérée, c'est, comme on sait, le système de M. Émile Schwœrer, de Colmar, ancien collaborateur de Hirn. La fonte doit être exempte de porosité, même à haute température. L'appareil se compose d'une série de gros tubes rectilignes reliés par des pièces de raccord demi-circulaires, de manière à former serpentin. Ces tubes sont nervurés, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, afin de développer les surfaces de contact avec la vapeur et avec les gaz. Les nervures intérieures sont longitudinales pour que la vapeur chemine régulièrement à leur contact ; les nervures extérieures sont transversales ou longitudinales, suivant le sens du mouvement général des gaz chauds dont l'appareil est enveloppé.

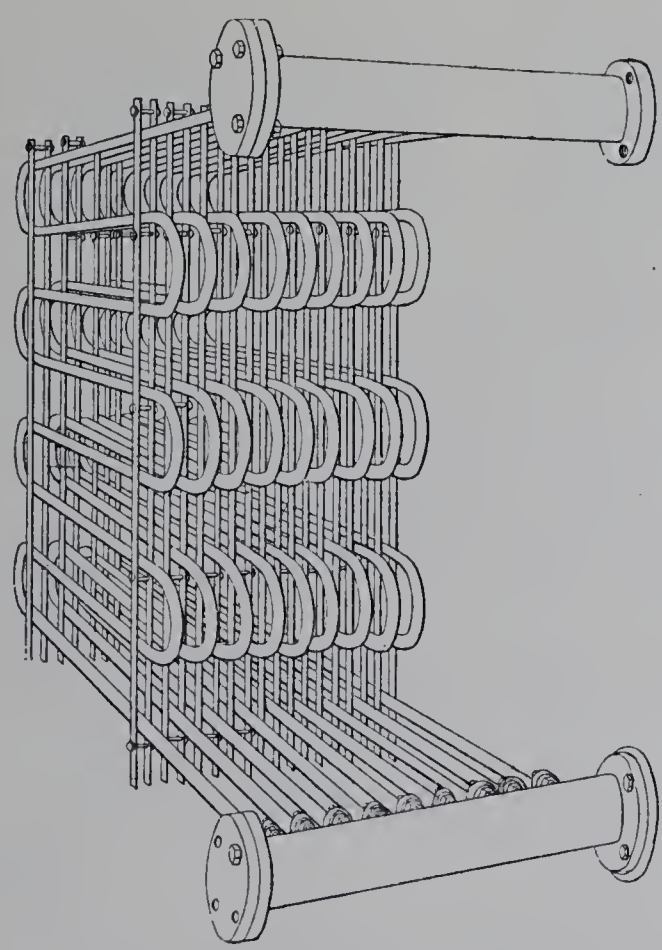


Fig. 141. — Surchauffeur Hering.

Ces tubes, doublement nervurés, représentent une masse métallique importante, car ils pèsent 250 kilogrammes par mètre de longueur; le serpentin possède, par suite, une capacité calorifique notable et forme *volant de chaleur,* ce qui donne de la stabilité au fonctionnement.

Il ne convient naturellement pas d'exposer ces appareils en plein feu; lorsque le surchauffeur est adjoint à une chaudière, il est logé à l'abri des flammes, dans une partie des carneaux où n'accèdent que des gaz à température modérée; s'il s'agit d'un appareil à foyer indépendant, les gaz de ce foyer s'éteignent d'abord dans une chambre de combustion séparée du serpentin, avant d'être envoyés au contact de celui-ci.

Les surchauffeurs en acier sont formés de tubes de petit diamètre; la métallurgie fournit aujourd'hui des tubes étirés sans soudure, dont il est facile de faire des serpen-

tins. La petitesse du diamètre rend sans danger la rupture éventuelle d'un tube; elle permet de loger dans un petit espace une surface de chauffe étendue; enfin il en résulte que la vapeur se trouve chauffée sous forme de filet mince, ce qui réduit l'influence de son peu de conductibilité. Plus on emploie des tubes épais, plus on accroît la résistance de l'appareil aux hautes températures, en même temps que la masse métallique formant en quelque mesure volant de chaleur.

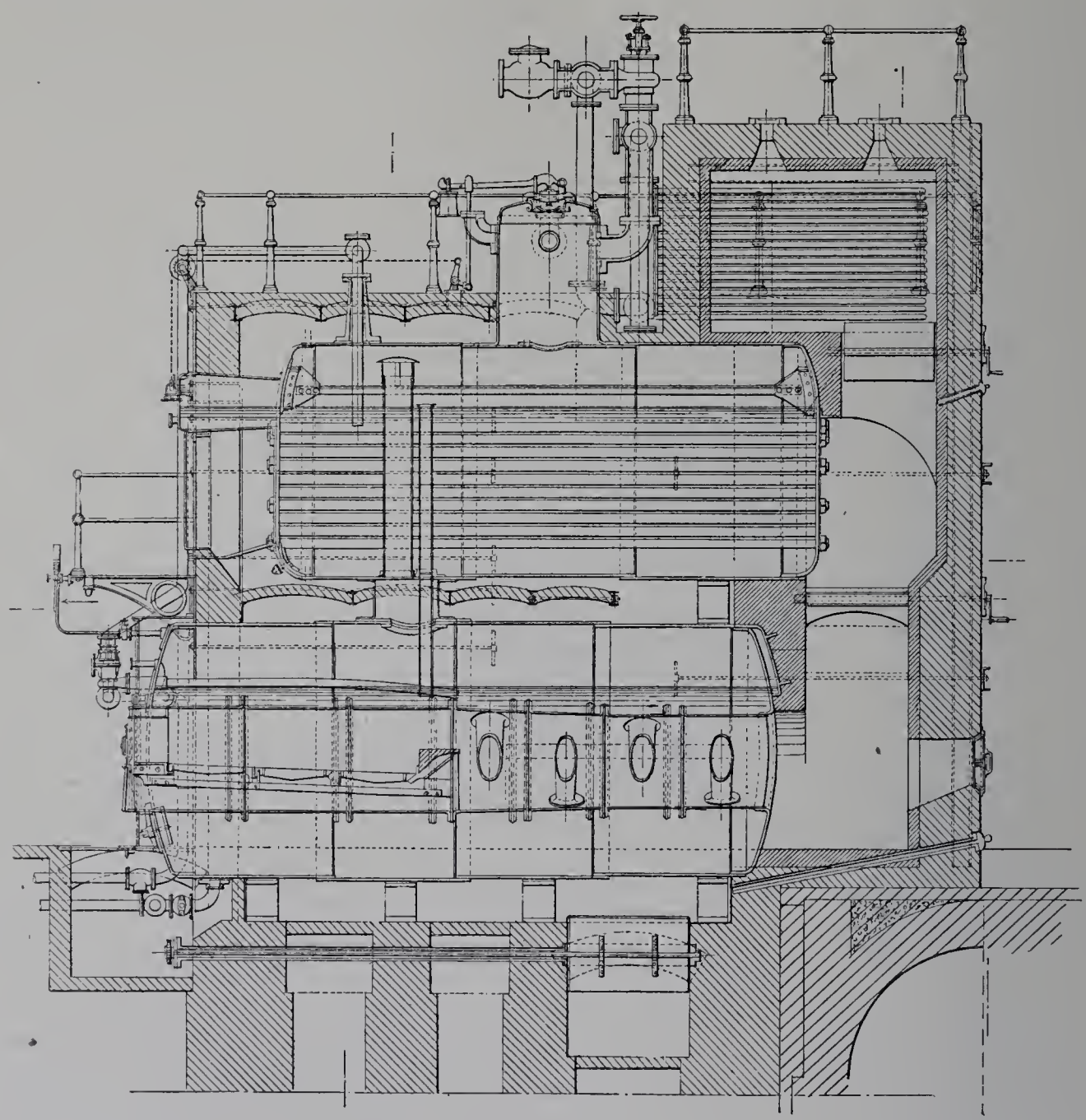


Fig. 142. — Installation d'un surchauffeur Hering sur une chaudière de M. Berninghaus. Coupe longitudinale.

Surchauffeurs Hering. — C'est ainsi que sont fabriqués, notamment, les surchauffeurs (fig. 141) construits par M. Auguste Hering, de Nuremberg, dont plusieurs exemplaires figurent à l'Exposition. Deux des quatre générateurs Tischbein installés à l'usine Suffren par M. Berninghaus sont pourvus d'appareils de ce système, placés au sommet du fourneau comme le montrent les fig. 142 à 144. La chaudière à tubes d'eau exposée à l'état de non-fonctionnement par la Société Fitzner et Gamper possède

aussi un surchauffeur du même type disposé sous le faisceau vaporisateur. M. Hering emploie des tubes en acier suédois, sans soudure, d'un diamètre de 3 à 4 centimètres et d'une longueur pouvant aller à 30 mètres. Chaque tube est replié sur lui-même un certain nombre de fois, de manière à présenter une série de parties rectilignes et parallèles se succédant dans un même plan : le serpentin, ainsi constitué, forme un élément du surchauffeur; un certain nombre d'éléments semblables sont juxtaposés et associés en quantité. A cet effet, les extrémités de ces différents serpentins sont reliées ensemble par deux collecteurs transversaux. Ceux-ci sont en fonte et placés extérieurement au fourneau; les tubes, à partir de chacun d'eux, traversent la maçonnerie en pénétrant dans autant de fourreaux qui laissent libre le jeu des dilatations. Il résulte de ces dispositions que l'appareil n'a aucun joint exposé aux gaz chauds; les jonctions des tubes-serpentins avec les collecteurs sont, comme ces collecteurs eux-mêmes, purement extérieures et aisément accessibles.

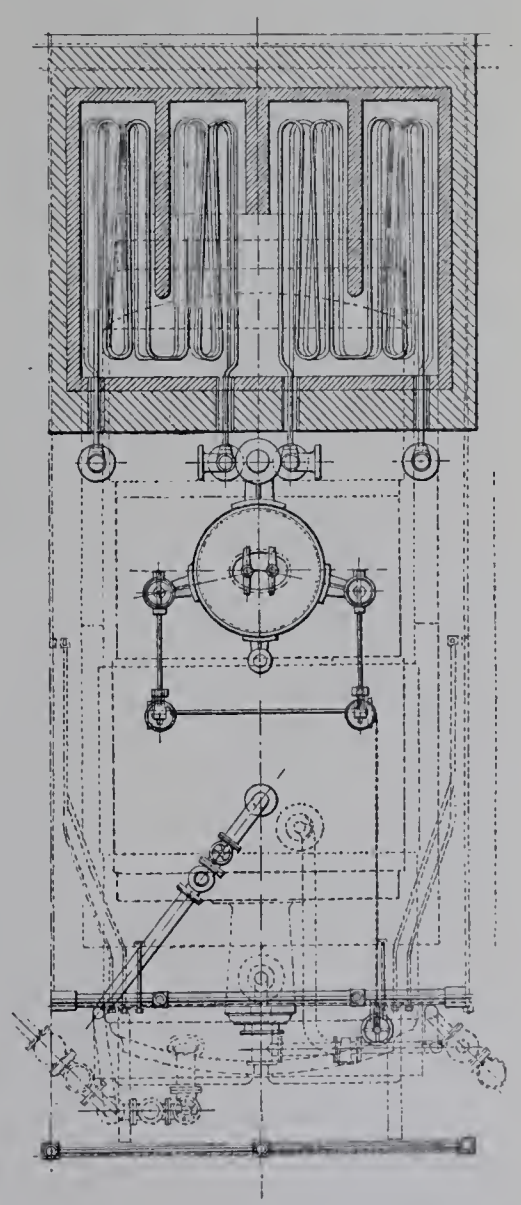


Fig. 143. — Installation d'un surchauffeur Hering sur une chaudière de M. Berninghaus. Coupe horizontale.

L'un des collecteurs porte une soupape de sûreté pour parer aux excès de pression qui pourraient résulter de fausses manœuvres. Celui qui se trouve du côté de la sortie de la vapeur est muni d'un thermomètre à cadran contrôlant à chaque instant l'état de la vapeur produite.

Un système de registres permet de régler l'activité de la circulation des gaz dans les boîtes de maçonnerie contenant le surchauffeur; on peut donc modérer à volonté le degré de la surchauffe. Ces mêmes registres donnent la faculté, par leur femeture totale, de supprimer entièrement le chauffage du surchauffeur, ce qui présente deux importants avantages : d'une part, on a ainsi le meilleur moyen de préserver les serpentins de la détérioration pendant les mises en pression de la chaudière, quand la vapeur n'y circule pas; d'autre part, on est à même de les réparer sans interrompre le service, la tuyauterie étant disposée de manière qu'on puisse les isoler totalement et alimenter la machine au moyen de vapeur saturée.

En donnant à un tel surchauffeur une surface égale au tiers ou à la moitié de la surface de chauffe du générateur, on réalise une surchauffe modérée, allant à une centaine de degrés au-dessus de la température de saturation.

MM. Carels frères, dont les machines à distribution par soupapes sont avantageusement alimentées par de la vapeur à 300 degrés environ, donnent à leurs surchauffeurs, établis suivant ces principes, même surface de chauffe qu'aux chaudières.

Surchauffeurs Schmidt. — Le cheminement de la vapeur dans les serpentins d'un surchauffeur a lieu d'ordinaire dans le même sens général que le mouvement des gaz; la vapeur humide, arrivant dans la partie la plus fortement chauffée, la protège contre une détérioration trop rapide, tandis que la température des gaz à l'aval est encore suffisante pour achever la production d'une surchauffe modérée. Pour l'obtention des hautes surchauffes, M. W. Schmidt a recours à un système un peu plus complexe :

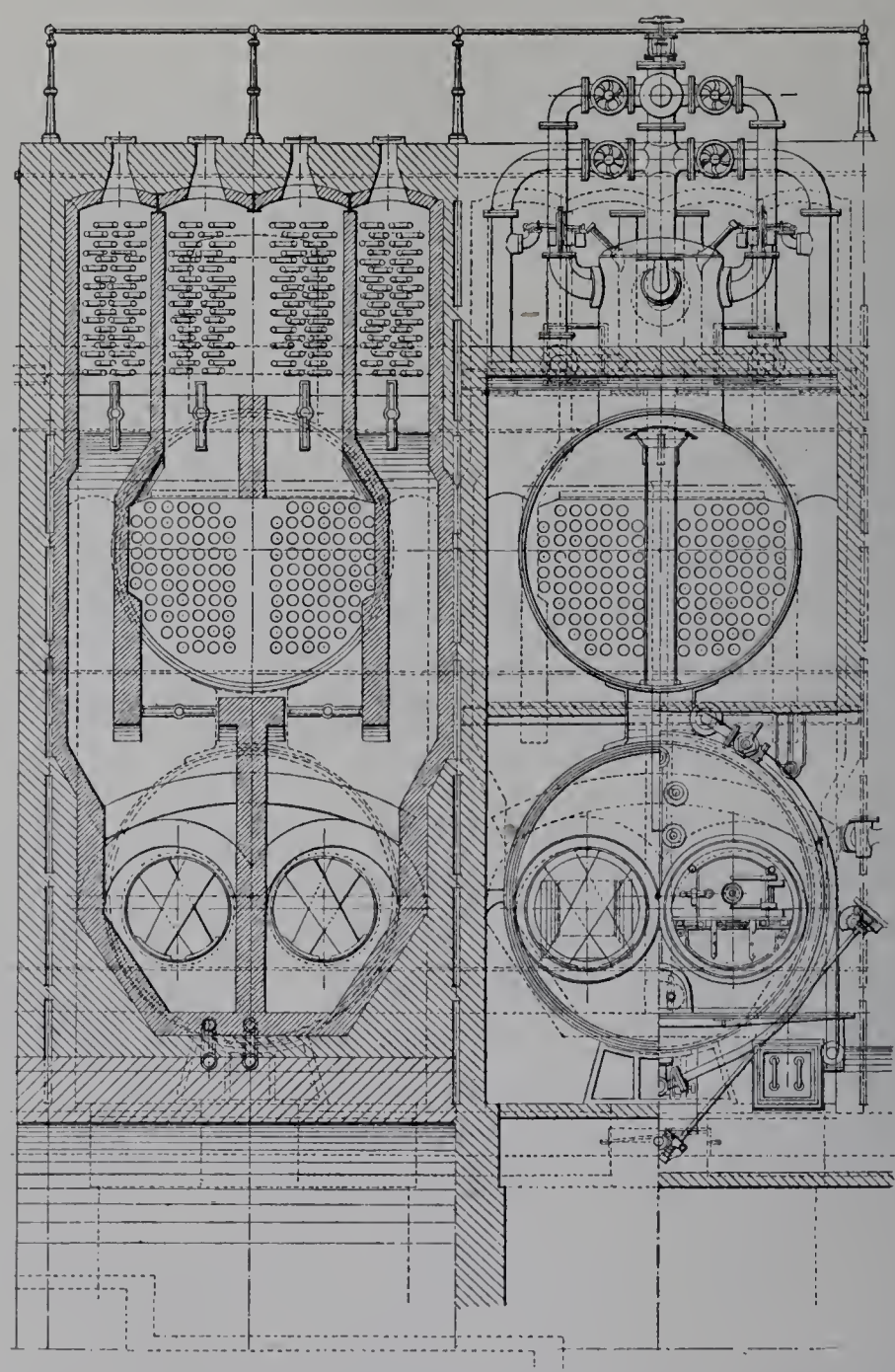


Fig. 144. — Coupes transversales du groupe de deux chaudières de M. Berninghaus munies de surchauffeurs Hering.

la vapeur parcourt successivement deux serpentins, l'un placé à l'amont, l'autre à l'aval; dans le premier, qui se trouve enveloppé des gaz les plus chauds et où arrive la vapeur humide, le mouvement a lieu comme nous venons de le dire, afin de préserver le mieux possible l'appareil; dans le second, la vapeur chemine en sens inverse, de l'aval vers l'amont par rapport au mouvement des gaz, afin de réaliser un chauffage méthodique et d'achever la production de la surchauffe au contact de gaz suffisamment chauds.

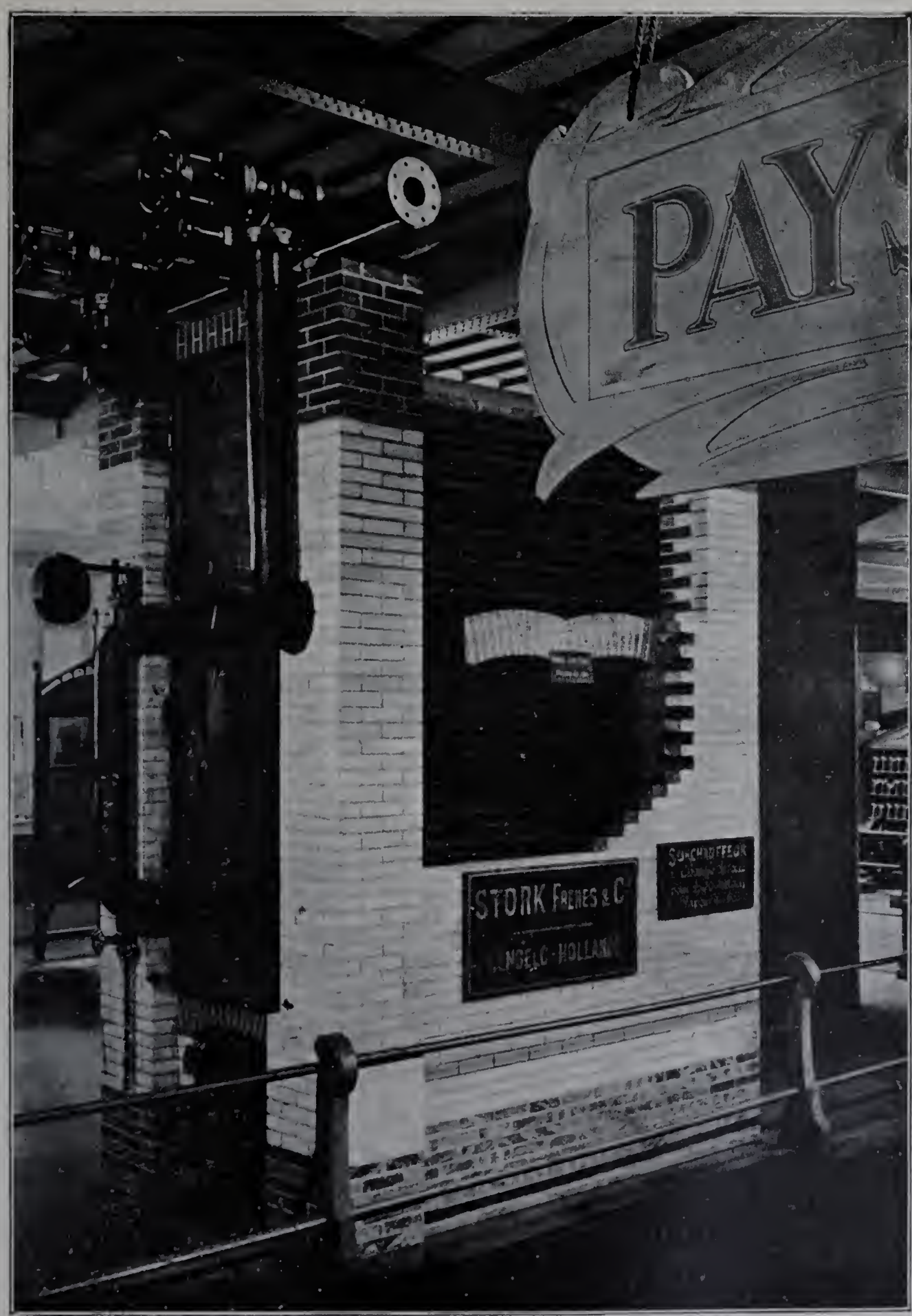


Fig. 145. — Surchauffeur Schmidt à foyer indépendant. (MM. Stork frères.)
L'appareil est exposé avec maçonnerie incomplète afin d'en laisser voir la disposition intérieure.

IMPRIMERIE NATIONALE.

MM. Stork frères et Cie, de Hengelo (Hollande), exposent un surchauffeur à foyer indépendant, établi d'après le système Schmidt, dont l'ensemble est représenté fig. 145 et dont les fig. 146 et 147 montrent en détail les dispositions.

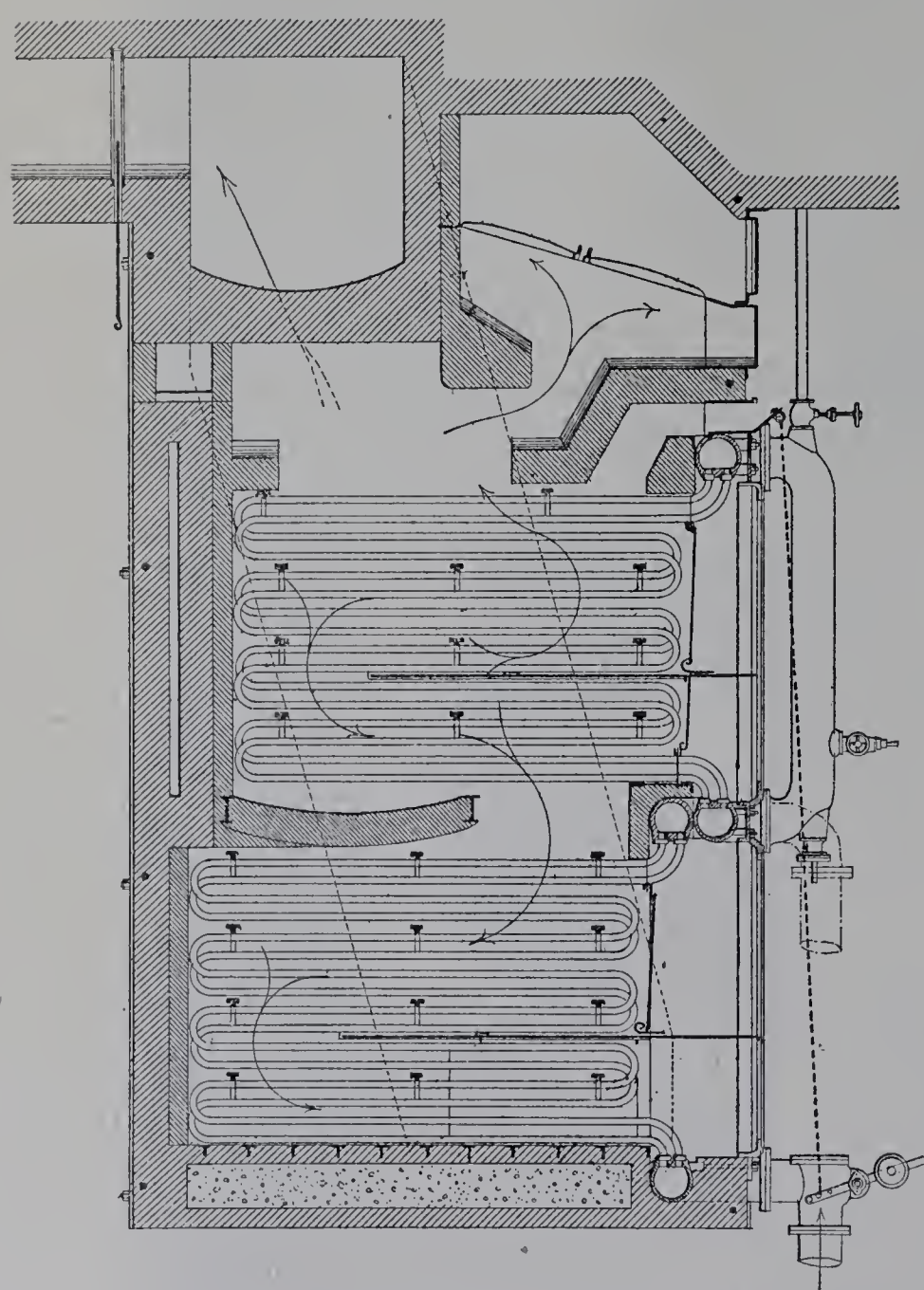


Fig. 146. — Surchauffeur Schmidt à foyer indépendant. (MM. Stork frères.) Coupe longitudinale.

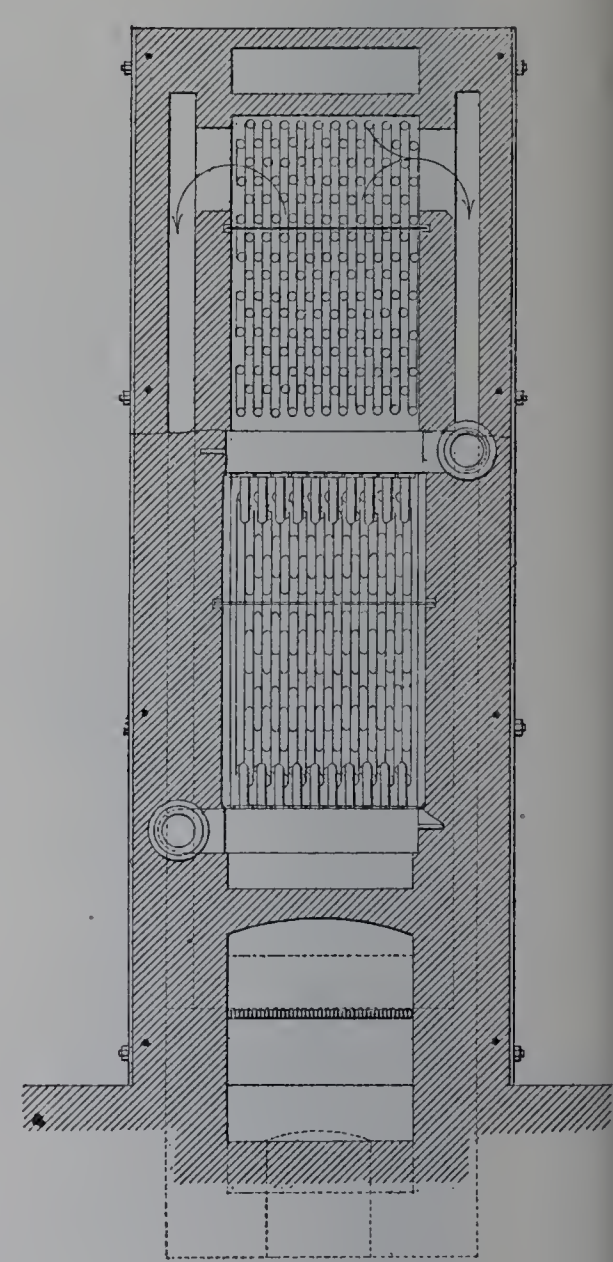


Fig. 147. — Coupe transversale.

VIII

APPAREILS INDICATEURS ET DE SÛRETÉ. CANALISATIONS DE VAPEUR.

L'Exposition n'a mis en lumière aucune innovation capitale en ce qui touche les appareils indicateurs ni les organes de sûreté des générateurs de vapeur. Des progrès utiles ont cependant été réalisés. On connaît mieux aujourd'hui qu'autrefois le fort et le faible de ces appareils. On sait les construire et les employer plus judicieusement.

§ 1. Indicateurs du niveau de l'eau.

Tube de verre. — Pour l'indication du niveau de l'eau, l'appareil considéré comme fondamental reste le tube de verre. Une expérience chèrement acquise au prix d'accidents a appris à se garder d'un certain nombre de vices d'installation ou de construction capables d'en rendre les indications trompeuses. On ne relie plus les tubes aux chaudières par ces tuyaux étroits, longs, contournés, si fréquents dans les anciennes installations de nos usines. On sait que le tube doit être greffé aussi directement que possible sur le générateur, au moyen de communications larges et courtes. On évite, dans le tracé de la communication d'eau, tout point bas qui pourrait retenir le liquide lorsque le plan d'eau s'abaisserait dans la chaudière. On sait le grave danger de l'obstruction, notamment de celle de la base du tube par le caoutchouc de la garniture; celle-ci doit, grâce à la forme de la monture, se trouver maintenue à suffisante distance de l'extrémité du cylindre de cristal; elle doit être formée d'une composition spécialement étudiée pour résister à la chaleur et ne pas se ramollir, quelle que soit la température à laquelle elle se trouve exposée à raison du timbre de la chaudière.

Il importe encore que le tube de verre soit placé en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation et qu'il soit facile à purger. La plupart des constructeurs allemands ont soin, et c'est un exemple à suivre, de donner de fortes dimensions aux robinets de la monture et à leurs poignées de manœuvre. Volontiers ils peignent celles-ci d'une couleur voyante. L'ensemble de l'appareil, en même temps qu'il est rendu d'un emploi commode, prend ainsi un air d'importance en rapport avec l'attention dont il doit être l'objet de la part du chauffeur.

Les tubes doivent être d'un cristal parfaitement homogène et pas trop épais, afin d'éviter les ruptures par inégalité de dilatation. Il faut d'autre part qu'ils soient très résistants, ce qui conduit à leur donner un petit diamètre. Leur fabrication constitue, entre les mains des verriers habiles, une spécialité dont les hautes pressions qui sont maintenant en usage augmentent le mérite. La Société du verre étiré, de Paris, expose des tubes en verre de silex, éprouvés à la pression de 20 kilogrammes par centimètre carré; on trouve aussi cette pression d'épreuve, ou même celle de 30 kilogrammes par centimètre carré, indiquée dans les catalogues de divers constructeurs étrangers.

Il importe, pour éviter les ruptures, que tout tube indicateur soit monté bien droit et qu'il ne se trouve pas exposé à de brusques refroidissements par les courants d'air, ni à des dilatations trop inégales lorsqu'il est remis en service à la suite d'une purge. Le bris d'un tube de verre, en particulier dans ce dernier cas, peut être pour le chauffeur une cause d'accident plus ou moins grave; il peut arriver par malchance qu'un fragment atteigne un œil ou même incise une artère. Différentes dispositions ont été imaginées pour écarter les risques de ce genre, qui s'accentuent beaucoup lorsqu'il s'agit de chaudières à timbre élevé. Certains constructeurs, comme M. Antoine Guyot, de Montreuil-sous-Bois, et

d'autres, ont recours à des clapets automatiques ayant pour mission de se fermer en cas de bris du tube, ce qui n'est pas sans introduire dans la robinetterie une certaine complication. Les dispositifs protecteurs formés de gaînes métalliques à fenêtre ou à treillis ont souvent

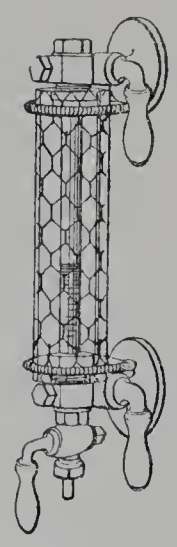


Fig. 148. — Protecteur en verre armé. (MM. Schaeffer et Budenberg.)

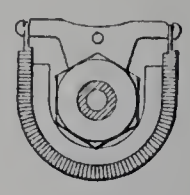


Fig. 149. — Plan montrant le mode de fixation du protecteur en verre armé.

l'inconvénient de nuire d'une manière sérieuse à la visibilité des indications de l'appareil. Les écrans ou gaînes en cristal épais répondent bien aux exigences du problème; seulement il faut leur donner de fortes épaisseurs et des dispositions judicieuses, si l'on ne

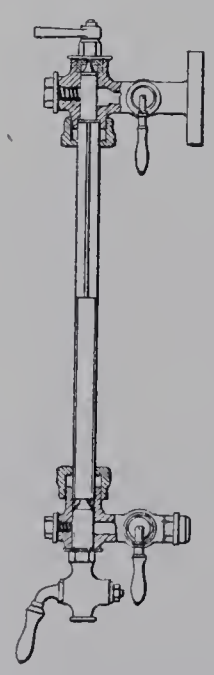


Fig. 150. — Tube à effet de réfraction par élargissement d'une raie verticale. (Société du verre étiré.)

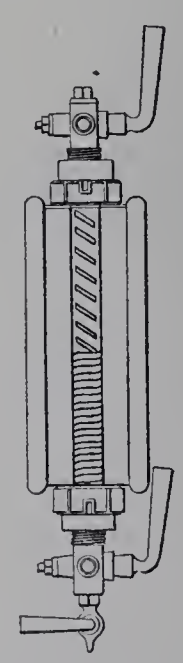


Fig. 151. — Tube à effet de réfraction par redressement de raies obliques. (Société du verre étiré.)

veut avoir à craindre que l'organe protecteur se trouve brisé et joigne ses fragments à ceux du tube. On fabrique en Allemagne, ainsi qu'on peut le voir sur des chaudières de l'usine Suffren, des protecteurs demi-cylindriques en verre armé, c'est-à-dire faits

d'un verre épais dans lequel est empâté un treillis métallique à larges mailles. Les fig. 148 et 149 montrent ce dispositif, tel que l'établissent MM. Schaeffer et Budenberg, de Magdebourg-Buckau[1].

Il est fort utile de mettre à profit l'inégale réfrangibilité de l'eau et de la vapeur pour accentuer la différence d'aspect entre la partie du tube occupée par le liquide et celle qui ne l'est pas. Une raie verticale de couleur voyante, marquée le long du tube sur une bande émaillée du côté opposé à l'observateur, se trouve élargie par la réfraction dans l'eau (fig. 150). Des raies transversales, disposées obliquement, se trouvent redressées. Ces dispositions sont exposées par la Société du verre étiré (fig. 151). Dans les indicateurs à glace plane du système Klinger, la face intérieure de la glace est striée de façon que les rayons lumineux qui la traversent subissent, dans la partie en contact avec la vapeur, une réflexion totale donnant un aspect brillant, tandis que, là où le verre a de l'eau derrière lui, les rayons pénètrent jusqu'au fond noir de l'appareil. La fig. 152 montre un modèle de ce système, monté sur une robinetterie de MM. Hubner et Mayer.

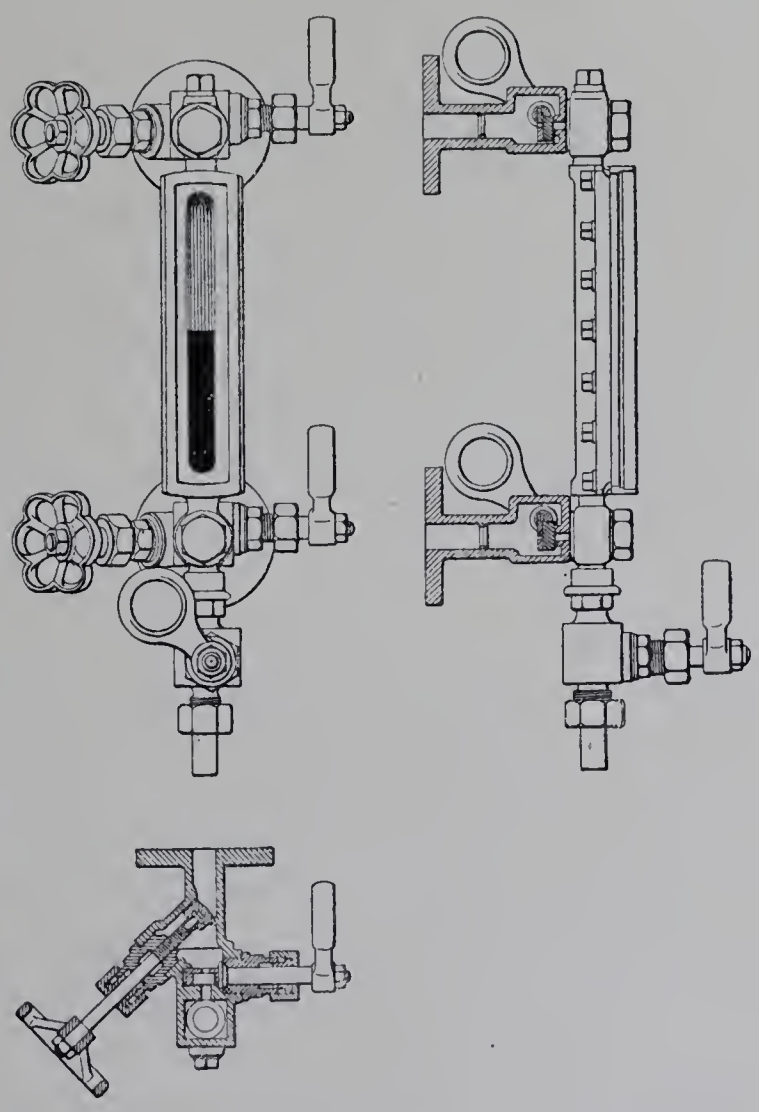


Fig. 152. — Indicateur à effets de réflexion totale, avec robinetterie de MM. Hubner et Mayer.

La grande élévation du niveau de l'eau au-dessus du sol de chauffe est naturellement de nature à rendre pénible la consultation et l'entretien du tube de verre; c'est une difficulté que présentent un certain nombre de types modernes, tels que les grands générateurs à tubes d'eau ou les corps supérieurs des chaudières doubles du système Tischbein, sans compter les hautes tours « Climax » des Américains. On s'en tire en établissant, le long des façades, des passerelles fixes accessibles au moyen d'escaliers. La solution n'est pas sans compliquer les installations et le service; du moins conserve-t-on les avantages fondamentaux d'un appareil sûr dans ses indications et entièrement accessible.

Il devrait être superflu d'ajouter que les tubes de verre doivent être bien éclairés. L'expérience montre, cependant, que ce n'est pas là une remarque inutile et, à l'Expo-

[1] Dans la Classe 21, où un certain nombre d'exposants présentent des tubes indicateurs à titre d'appareils de la mécanique générale, on trouve des niveaux d'eau blindés imaginés par M. Auguste Bara, de Paris, un pare-éclats dû à M. Benjamin-Lebrun, de Chalon-sur-Saône, etc.

sition même, on a dû renforcer l'éclairage primitivement prévu le long des façades de certains générateurs.

Deuxième appareil indicateur du niveau de l'eau. — Il est si important de mettre l'indication du niveau de l'eau à l'abri de tout risque d'erreur que l'on ne se contente pas d'un appareil indicateur du niveau de l'eau; on en installe au moins deux par chaudière. Il est essentiel qu'ils soient indépendants l'un de l'autre. Assez souvent ce sont deux tubes de verre. Souvent aussi l'on adjoint à un tube de verre un système de robinets étagés, ou un appareil à flotteur plus ou moins perfectionné.

Un système de robinets étagés constitue un appareil indéréglable et sûr à condition : 1° que chacun des robinets soit directement piqué, sans aucun tuyautage intermédiaire, sur la paroi derrière laquelle se trouve le plan d'eau dont il s'agit de constater la hauteur; 2° que ces robinets émettent directement à l'air libre leur jet de liquide partiellement vaporisé ou de vapeur partiellement liquéfiée; 3° qu'on les entretienne en bon état de fonctionnement et qu'on les consulte. Il résulte de là qu'ils sont surtout appropriés aux chaudières des locomotives et d'une manière générale aux chaudières comportant un plan d'eau net situé à hauteur du chauffeur. Ils rendent alors d'excellents services; ce cas est d'ailleurs, aussi, le plus favorable au parfait fonctionnement des tubes de verre.

Les indicateurs à flotteur sont d'emploi commode; ils fournissent des indications permanentes, certains d'entre eux sur des cadrans dont l'observation est facile à distance. Mais il faut craindre qu'ils ne se dérangent; c'est une éventualité à laquelle les dispositions les plus ingénieuses ont bien de la peine à les soustraire.

Il va sans dire que l'ancien flotteur à meule, équilibré extérieurement par un levier à contrepoids, est entièrement délaissé. La meule s'effritait à la longue; c'est un inconvénient auquel on aurait pu parer en changeant la nature du flotteur. Mais le vice le plus grave était que la tige de suspension traversait un presse-étoupe et qu'il n'y avait guère de milieu entre un serrage insuffisant, laissant fuir la vapeur, et un serrage excessif paralysant l'appareil. Dans le flotteur automoteur des générateurs Belleville, on retrouve un presse-étoupe, mais la tige à laquelle celui-ci livre passage n'a qu'un va-et-vient d'amplitude tout à fait minime, grâce au renvoi de mouvement donné par le levier intérieur; de la sorte, il est possible de serrer notablement la garniture sans nuire au fonctionnement de l'appareil, dont il reste malgré tout nécessaire de vérifier assez fréquemment le libre jeu.

On sait que dans l'indicateur Lethuillier-Pinel, pour éviter d'avoir à faire passer aucune pièce de l'intérieur à l'extérieur de la chaudière, on utilise l'attraction magnétique; un flotteur léger, formé d'une lentille métallique, est surmonté d'une tige qui monte et descend dans une colonne creuse, fermée du haut et en libre communication par le bas avec le générateur. Cette tige se termine par un aimant; un index extérieur, constitué par un petit rouleau d'acier, va et vient sur une face plane de la colonne, retenu qu'il est constamment, par l'attraction, au niveau de l'aimant. En observant le petit

index, on est renseigné sur la position du plan d'eau, pourvu toutefois que la tige ne soit jamais, à l'insu du chauffeur, accrochée ni immobilisée à l'intérieur de la colonne creuse.

Dans le système Chaudré, exposé par MM. Risacher et Hébert, de Paris, et employé notamment sur les chaudières Roser de l'usine La Bourdonnais, l'organe de transmission qui passe de l'intérieur à l'extérieur de la chaudière est un levier; le passage est obtenu au moyen d'un tube flexible qui entoure le levier sur une certaine longueur, se soude à lui par un de ses bouts et est greffé par l'autre sur la paroi de la chaudière, ou plus exactement sur l'extrémité d'un piétement dont l'intérieur est en communication permanente avec celle-ci. L'élasticité de cette gaîne permet au levier d'osciller d'un petit angle de part et d'autre de sa position moyenne, l'axe du tube s'infléchissant légèrement en arc de cercle. Le flotteur, constitué par une lentille creuse, est porté à l'extrémité d'un bras articulé intérieur à la chaudière; le mouvement est transmis, avec grande réduction du déplacement angulaire, de ce bras au levier à gaîne flexible; puis, extérieurement à la chaudière, une grande amplification de mouvement intervient pour commander l'aiguille du cadran indicateur. Ces diverses pièces et leurs articulations doivent naturellement être toutes en bon état pour que l'appareil soit fidèle. Il faut aussi que le piétement dans lequel est le tube flexible soit disposé de manière à ne pouvoir s'entartrer ni s'embouer.

M. Édouard Bourdon fait passer de l'intérieur à l'extérieur de la chaudière le mouvement de rotation d'une tige mince autour de son axe, ce qui ne donne lieu qu'à un frottement minime. Le joint étanche est obtenu au moyen d'une partie conique de la tige, que la différence des pressions appuie dans son logement. Sauf le bout extérieur de cette tige, terminé par une aiguille indicatrice mobile sur un cadran, tout le mécanisme est intérieur; il se compose d'un flotteur plein équilibré par un levier à contrepoids, afin d'éviter l'emploi des lentilles creuses auxquelles on reproche de pouvoir s'emplir d'eau, si elles ne sont pas parfaitement étanches, et de s'écraser sous les fortes pressions.

L'indicateur à flotteur, quel qu'en soit le système, est généralement complété par un sifflet avertisseur de manque d'eau, dépendant du même mécanisme. Parfois il y a deux sifflets de sons différents, l'un pour le manque d'eau, l'autre pour le trop d'eau. Il ne faut pas que la disposition des pièces commandant ces sifflets puisse être pour le système une cause de dérangement.

§ 2. Manomètres.

Pour l'indication de la pression, le manomètre métallique est d'emploi universel. La généralité des applications de ce précieux instrument le fait rentrer dans le domaine de la Classe 21, où un assez grand nombre d'exposants l'ont présenté avec des détails de construction intéressants : citons notamment M. Édouard Bourdon, dont la maison reste à hauteur de sa vieille et universelle célébrité; M. Joseph Ducomet, M. Jules

Richard, de Paris; M. Henri Daclin, M. Petrus Devaux, de Lyon; la *Crosby steam gauge and valve C°*, de Boston (États-Unis), etc. Dans la Classe 19, divers constructeurs d'appareils de sécurité et de contrôle pour chaudières à vapeur présentent aussi d'excellents modèles de manomètres, qu'ils ont largement répandus dans l'industrie; citons particulièrement l'ancienne et importante maison de MM. Schaeffer et Budenberg, de Magdebourg, l'Ashton valve C°, de Boston (États-Unis), etc.

Le principe de l'enregistrement automatique s'applique sans difficulté à ce genre d'appareil; les manomètres enregistreurs sont d'une utilité depuis longtemps appréciée pour le contrôle du service des chaufferies. Le manomètre enregistreur Bourdon inscrit son diagramme sur un disque en carton, auquel le mouvement d'horlogerie fait faire un tour en 24 heures; la plume est portée par un levier fixé sur le même axe que l'aiguille du manomètre, qui par lui-même conserve la disposition ordinaire; le tout forme un instrument ramassé, à la fois indicateur et enregistreur. Dans les manomètres enregistreurs de la maison Jules Richard, comme dans les baromètres, ampèremètres et autres instruments enregistreurs de cette maison, le diagramme s'inscrit sur une bande de papier recouvrant un tambour.

§ 3. Soupapes de sûreté.

Les soupapes de sûreté ont le double caractère d'appareils avertisseurs et de limitateurs automatiques de la pression. Pour avertir le chauffeur que la pression-limite est atteinte, toute soupape est bonne, pourvu qu'elle soit exactement chargée. La limitation automatique de la pression soulève des questions plus complexes, qui ont donné lieu à des travaux et à des perfectionnements intéressants.

Il faut que la soupape suffise à évacuer seule, d'une manière automatique, toute la vapeur produite pendant que le feu est entretenu au maximum d'activité, sans qu'il se produise dans la chaudière une surpression supérieure à une limite donnée. Avec les soupapes ordinaires, il faut calculer très largement les dimensions ou admettre une surpression notable, parce que, à mesure que le clapet se lève, la pression moyenne de la vapeur à son contact s'abaisse très rapidement au-dessous de la pression statique régnant à l'intérieur de la chaudière, par l'effet de la perte de charge qui accompagne l'écoulement; la levée de la soupape est donc une fonction faiblement croissante de la surpression et il en est naturellement du débit comme de la levée. Avec un clapet de l'ancienne et simple forme classique, on estime qu'une surpression de 1/10 est nécessaire pour tenir la soupape levée de 1/40 de son diamètre, alors qu'il faudrait une levée 10 fois supérieure (1/4 du diamètre) pour assurer à la section annulaire d'écoulement une aire égale à la section circulaire du siège.

Les perfectionnements, qui ont depuis longtemps sollicité l'imagination des inventeurs, ont été demandés à divers principes, dont quelques-uns fort ingénieux. Le plus souvent on fait intervenir, pour compenser la diminution de pression que subit la vapeur du fait de son écoulement, l'action ou la réaction du fluide en mouvement sur des

surfaces auxiliaires; la courbe des levées de la soupape en fonction des pressions dans la chaudière se trouve redressée et une faible surpression porte la levée jusqu'à 1/4 ou du moins, ce qui suffit en pratique, jusqu'à 1/8 du diamètre. Quand la compensation n'est que partielle, de telle sorte que la courbe ne soit que modérément redressée, une valeur bien déterminée de la levée correspond à chaque valeur de la surpression et, lorsque la pression baisse dans la chaudière, la soupape vient reposer sur son siège dès que cette pression repasse par la valeur qui avait déterminé le soulèvement; c'est ainsi que fonctionnent les soupapes à échappement progressif dues à S.-L. Dulac. Quand au contraire la compensation est surabondante, la soupape, aussitôt qu'elle a commencé à s'ouvrir, se trouve portée à son maximum d'ouverture; elle éprouve ordinairement ensuite un certain retard à la fermeture, c'est-à-dire qu'il faut, avant qu'elle revienne d'elle-même sur son siège, que la pression s'abaisse, d'une quantité plus ou moins appréciable, au-dessous de la valeur pour laquelle la levée avait eu lieu. Le principe est, comme on sait, susceptible d'être réalisé de diverses manières; c'est ainsi que dans le système Adams et ses analogues, la soupape porte à sa périphérie un prolongement annulaire creusé en gorge et rabattant le fluide vers une gorge fixe; dans le système Lethuillier-Pinel, la vapeur est renvoyée sur un champignon supérieur; les systèmes Codron, Crosby, etc., recourent à l'emploi d'une soupape annulaire à double siège, dont la levée procure à l'action de la vapeur une surface additionnelle centrale.

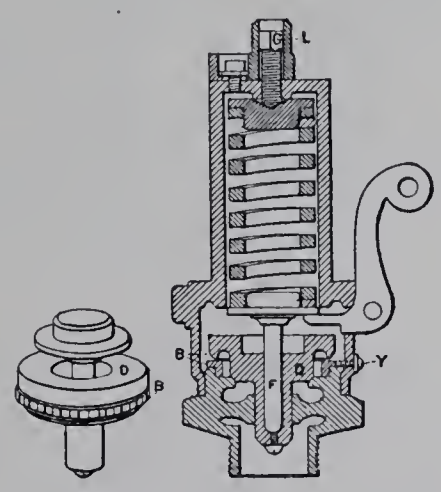


Fig. 153. — Soupape de sûreté de la Cie Lunkenheimer.

Les exposants des États-Unis présentent plusieurs types intéressants de ces soupapes à grande levée (*pop valves*). La fig. 153 montre un des modèles de la Compagnie Lunkenheimer, de Cincinnati. La soupape D, ajustée sur un siège conique, est prolongée vers le bas par une partie cylindrique guidée, sur le fond de laquelle appuie la pièce F, directement chargée par un ressort. On règle la tension de celui-ci en agissant sur la vis G, normalement protégée par une gaîne L qu'on ne peut enlever qu'au moyen d'une clef spéciale, de sorte que le réglage du ressort se trouve soustrait à l'intervention du chauffeur. Afin d'obtenir l'effet de grande levée, la soupape est prolongée vers le haut par une partie creusée en gorge, suivant le même principe que dans le système Adams. Cet effet est réglable, grâce au dispositif suivant. La vapeur s'écoule entre le bord extérieur de la gorge et la face plane supérieure d'un anneau B, qui peut être légèrement élevé ou abaissé suivant qu'on le fait tourner dans un sens ou dans l'autre, parce qu'il est fileté extérieurement et incomplètement vissé dans le siège fixe; quand on l'a amené au niveau voulu, on l'immobilise au moyen d'une vis de fixation Y qui s'engage dans l'un des creux d'une denture périphérique.

La fig. 154 représente un modèle de l'Asuton valve Co, de Boston. La soupape, à siège conique, est guidée à la fois par des ailettes inférieures et par un prolongement

supérieur cylindrique qui coulisse dans une gaîne fixe. La soupape se trouve ainsi surmontée d'une chambre AA qui contient le ressort et qui est mise, par des orifices supérieurs, en libre et constante communication avec l'atmosphère. Le départ de la vapeur, quand la soupape fonctionne, a lieu par la boîte BB et sa tubulure latérale. La chambre AA formant logement du ressort ne donne passage qu'à la faible quantité de vapeur qui filtre autour du guide cylindrique surmontant la soupape; la pression, sur la face supérieure de celle-ci, demeure donc toujours égale à la pression atmosphérique, quand bien même l'écoulement de la vapeur par la tubulure latérale se ferait dans une tuyauterie où les pertes de charge seraient notables. Comme dans le système précédent, la tension du ressort qui presse la soupape peut être réglée au moyen d'une vis supérieure, soustraite à l'intervention du chauffeur par un chapeau cadenassé. Quant au *pop effect*, il est obtenu et réglé par les moyens suivants. La soupape porte, à son pourtour, une gorge dont le bord extérieur, quand la soupape est fermée, descend presque au contact de la table annulaire qui entoure le siège. Deux séries d'orifices sont percées, d'une part dans la soupape au sommet de la gorge, d'autre part dans la table annulaire du siège. Les orifices de cette deuxième série débouchent dans un canal circulaire CC qui, par une lumière O, est mis en communication avec la boîte BB. La vapeur, quand la soupape fonctionne, s'écoule à la fois par l'intervalle entre la gorge et la table et par les deux séries d'orifices; mais la facilité d'écoulement par les orifices inférieurs et le canal CC dépend de la plus ou moins grande ouverture de la lumière O; celle-ci peut être étranglée, au degré que l'on veut, suivant la position que l'on donne au bouchon à vis dont la figure fait comprendre la disposition et qui est, comme on voit, manœuvrable de l'extérieur. Plus on réduit ce passage, plus le *pop effect* s'accentue.

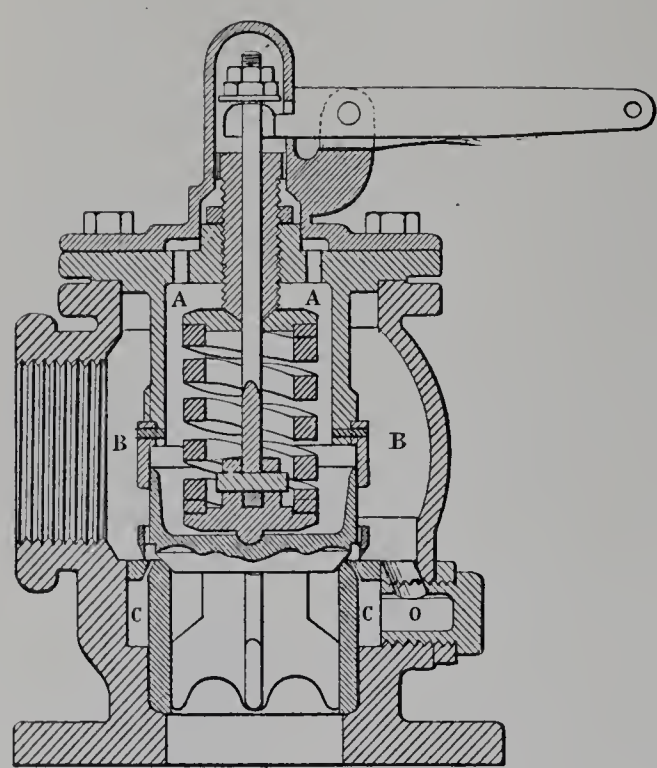


Fig. 154. — Soupape de sûreté de l'*Ashton valve C°*.

Dans les deux systèmes qui viennent d'être décrits, il est généralement nécessaire, quand on change la tension du ressort, de remanier le réglage du *pop effect*. Les soupapes exposées par la Cie Crane, de Chicago, sont établies en vue de supprimer cette sujétion. La soupape (fig. 155) porte autour d'elle une gorge dont le bord extérieur descend très bas, jusqu'à former, quand l'appareil ne fonctionne pas, une sorte de seconde fermeture autour du siège fixe. Si la gorge ainsi profilée n'était pas percée d'orifices à son sommet, son effet serait excessif. Elle est percée à son sommet d'une série d'orifices, recouverts par un plateau obturateur qu'un ressort spécial maintient appliqué contre la soupape. Par conséquent, lorsque la pression de la vapeur sur le fond de la gorge dépasse

une certaine valeur, ce plateau se sépare de la soupape et la vapeur trouve issue par les orifices. La réaction de la vapeur sur la gorge est ainsi limitée par la résistance du ressort auxiliaire, distinct du ressort principal et conservant la même tension quelle que soit la pression de vapeur pour laquelle celui-ci est réglé.

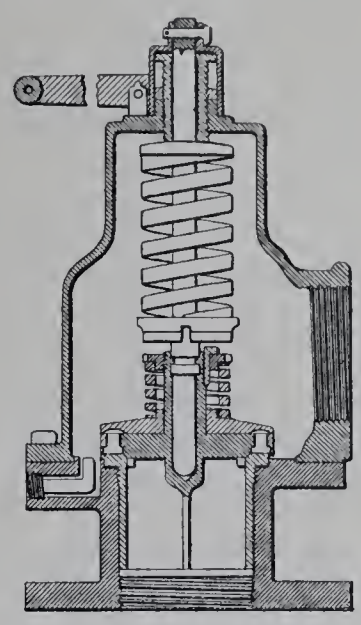


Fig. 155. — Soupape de sûreté de la Cie Crane.

MM. Hubner et Mayer, de Vienne, construisent des soupapes à grande levée sur un principe différent. L'ensemble de l'appareil est représenté fig. 156 et la fig. 157 montre, à plus grande échelle, le détail de la disposition. On voit que, tout en s'échappant, la vapeur actionne une sorte de trompe qui fait un vide partiel au-dessus de la soupape et la soulage d'autant plus que l'écoulement est plus vif.

Certains inventeurs donnent pour rôle à la soupape, qui se trouve soulevée quand la pression limite est atteinte, d'ouvrir à la vapeur une large voie, non par elle-même, mais en mettant en jeu un second dispositif. C'est ce que fait M. Louis-F. Pile dans la soupape de sûreté qu'il expose; l'appareil se compose essentiellement d'un piston formant tiroir cylindrique, dont le déplacement de bas en haut ouvre à la vapeur un chemin d'évacuation; les deux faces de ce piston sont en communication avec l'intérieur de la chaudière et, normalement, la pièce se trouve pressée de

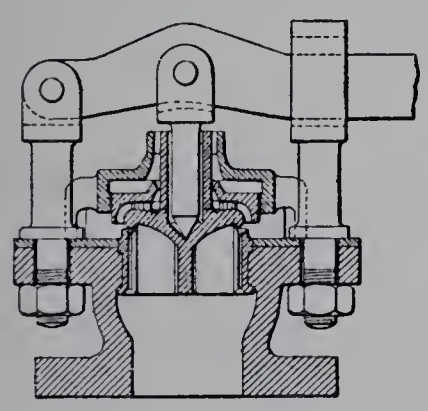


Fig. 156. — Soupape de sûreté de MM. Hübner et Mayer.

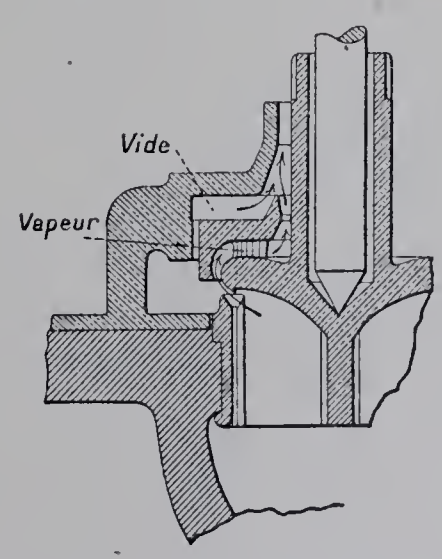


Fig. 157. — Détail de la fig. 156.

haut en bas, parce que la face supérieure est d'un diamètre un peu plus grand que l'autre; mais la chambre dans laquelle se trouve la vapeur qui agit sur la face supérieure est surmontée d'une petite soupape de sûreté, directement chargée par un ressort. Si la pression dans la chaudière tend à dépasser la valeur limite, cette petite soupape se soulève; l'écoulement auquel elle donne lieu produit dans la chambre une perte de charge par suite de laquelle la pression agissant sur la face inférieure du tiroir cylindrique prédomine : celui-ci se déplace donc de bas en haut.

Le débit auquel donne lieu une soupape de la vieille forme ordinaire, pour une surpression donnée, est affaire de diamètre. L'avantage des soupapes nouvelles réside donc dans leur petitesse. Si deux soupapes se lèvent, l'une de 1/40 de son diamètre, l'autre de 1/8 du sien, il suffit que le diamètre de la seconde vaille 48 p. 100 de celui de la première pour que, toutes choses égales d'ailleurs, elles offrent à la vapeur même section d'écoulement.

C'est un avantage important lorsqu'il s'agit de l'appareillage des générateurs à grande surface de chauffe. Au lieu de grandes soupapes difficiles à roder, dont le chargement nécessite des leviers et des contrepoids considérables, on a un appareil ramassé, dont le réglage dépend d'un ressort intérieur, dont la construction est, dans une certaine mesure, celle d'un instrument de précision. Enfin les dimensions restreintes des soupapes à grande levée, jointes aux formes habituelles de leurs boîtes, rendent facile de greffer sur elles une canalisation d'échappement de vapeur. C'est une précaution fort utile. Les soupapes échappant directement dans la salle de chauffe ont donné lieu à un certain nombre d'accidents graves, notamment en cas d'entraînement d'eau.

§ 4. Soupapes d'arrêt automatiques

Pour achever la revue des appareils de sûreté des chaudières, nous n'avons rien à dire de la soupape automatique de retenue d'alimentation, appareil modeste qui ne prête pas à des innovations importantes. Le clapet automatique d'arrêt de vapeur (nous l'appellerons clapet, suivant l'usage, que ce soit une soupape ou un clapet proprement dit) appelle plus d'explications.

Le mouvement d'idées relatif à cet appareil a été presque totalement, en France du moins, le résultat du décret du 29 juin 1886.

D'ordinaire, les règlements d'administration publique n'interviennent que pour sanctionner des pratiques déjà couramment établies et consacrées par l'usage. Ici la puissance publique a procédé un peu différemment : sous le coup de l'émotion causée par les catastrophes de Marnaval et d'Eurville, elle a ordonné que tout groupe de chaudières, ayant un produit caractéristique supérieur à 1800, fût divisé en sous-groupes d'un produit inférieur à ce nombre, de telle manière qu'en cas de rupture de l'un des appareils les conséquences de l'accident ne pussent être aggravées par le déversement de la vapeur des sous-groupes intacts : elle a fait cette prescription, alors que les appareils spéciaux à employer, les « clapets automatiques d'arrêt de vapeur » propres à assurer cette division, n'étaient pas encore répandus ni connus à fond.

Une certaine confusion a suivi cette procédure. Actuellement, les idées se sont éclaircies; on connaît, mieux qu'à l'origine, la manière dont les clapets d'arrêt doivent être construits et disposés; on sait qu'il faut en distinguer deux espèces, dont les règles d'établissement sont différentes ainsi que les fonctions.

Clapets d'arrêt s'opposant à un renversement du courant de vapeur. — Lorsqu'une chaudière se rompt dans l'une de ses parties, l'eau et la vapeur se déversent par la plaie jusqu'à ce que la pression soit tombée à zéro : c'est inévitable. Mais de plus, si cette chaudière est en batterie avec d'autres, la vapeur de celles-ci afflue par la conduite commune vers l'unité avariée et ce déversement supplémentaire est dans le cas d'aggraver les effets de l'accident. C'est ce qu'il est relativement facile d'éviter : dans le branchement de prise de vapeur de la chaudière avariée, il y a en effet, dans ce cas, renversement du sens de l'écoulement du fluide. Or on connaît bien le moyen d'empêcher que, dans un tuyau, le sens de l'écoulement d'un fluide ne puisse s'inverser : c'est d'interposer un clapet ou une soupape automatique, analogue à cet appareil modeste et bien connu dont nous parlions tout à l'heure, la soupape automatique de retenue d'alimentation. L'addition, sur la prise de vapeur de chaque chaudière, d'un clapet automatique ainsi compris ne saurait gêner le service : tant que dure le fonctionnement normal, la vapeur n'a jamais à s'écouler que dans le sens qui tient le clapet écarté de son siège; on peut lui donner autant de sensibilité qu'on veut : de cette sensibilité résultera seulement que, si l'écoulement vient à changer de sens, la fermeture sera facile et prompte. Certains constructeurs munissent couramment d'un appareil de ce genre la prise de vapeur de leurs générateurs : tels sont MM. Delaunay-Belleville et Cie, qui emploient le dispositif représenté fig. 158. C'est un clapet proprement dit AA', articulé sur l'axe D que porte le couvercle C.

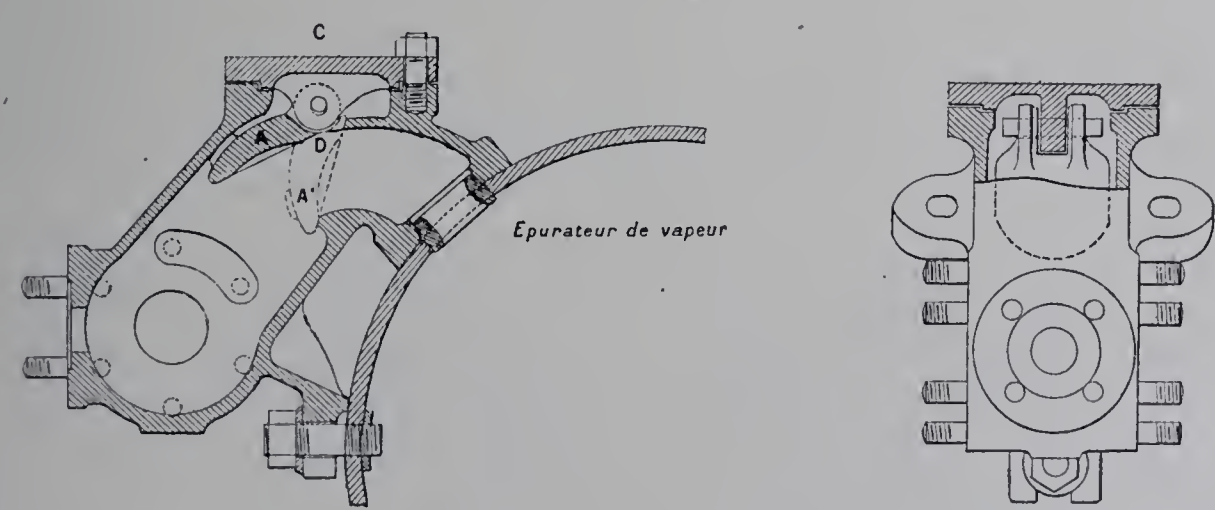


Fig. 158. — Clapet automatique de retenue de vapeur. (MM. Delaunay-Belleville et Cie.)

Une soupape d'arrêt disposée d'après ce principe peut même, sans aucune complication, ne former avec l'organe de prise de vapeur qu'un seul et même appareil. Supposons en effet que cet organe soit une soupape commandée par une tige à vis et s'ouvrant, comme c'est le cas le plus ordinaire, dans le sens de l'écoulement. Il suffit de couper la liaison entre la tige et la soupape : lorsqu'on fermera la prise de vapeur, la tige ne laissera pas d'appuyer sur la soupape et de l'appliquer sur son siège; par la manœuvre inverse, on écartera simplement la tige de l'organe obturateur : ce sera la différence des pressions qui soulèvera celui-ci, comme une soupape libre.

Clapets d'arrêt s'opposant à une accélération excessive du courant. — Mais on s'est dit que les raisonnements précédents peuvent être en défaut. Ils supposent que l'accident, affectant la chaudière pourvue du clapet d'arrêt de vapeur, laisse ce clapet intact. C'est ce qui arrive pour une chaudière à tubes d'eau dont un tube crève, ou pour une chaudière à tubes de fumée dans laquelle un ou plusieurs tubes à fumée s'écrasent, ou pour une chaudière quelconque subissant une avarie qui laisse sa partie supérieure en place. C'est ce qui arrive, autrement dit, dans la plupart des cas. Il peut toutefois en être autrement, du moins avec certains types de générateurs : que l'appareil fasse explosion en grand, avec arrachement de la tuyauterie jusqu'à une certaine distance, et les autres chaudières de la batterie déverseront leur vapeur par les sections de rupture des tuyaux jusqu'à ce qu'on ait pu aller fermer sur chacune d'elles la soupape de prise de vapeur.

On a été d'autant plus naturellement conduit à se préoccuper de cette hypothèse qu'elle correspondait aux circonstances des accidents de Marnaval et d'Eurville. Il peut d'ailleurs se produire des ruptures de tuyauterie ayant d'autres causes qu'une explosion de chaudière et à la suite desquelles il n'importe pas moins d'arrêter l'envahissement des locaux par la vapeur. C'est une éventualité dont les hautes pressions actuellement en usage accroissent le risque et dont les conséquences peuvent être particulièrement redoutables dans les établissements où l'on est obligé de conduire la vapeur au travers de locaux fermés, à proximité d'un personnel plus ou moins nombreux.

C'est en vue des accidents de cet ordre que l'on a constitué des soupapes d'arrêt automatiques se fermant dans le sens du courant de vapeur. Une telle soupape doit laisser le passage libre au fluide tant que la vitesse de celui-ci ne dépasse pas l'allure normale ; mais, si le courant subit une accélération désordonnée, comme celle qui peut suivre une rupture de tuyauterie, la soupape ou le clapet doit s'appliquer contre son siège, coupant le passage ou l'étranglant assez pour rendre l'écoulement sans danger. Lorsque, dans l'installation d'une batterie de chaudières, on interpose sur la prise de vapeur de chacune d'elles un clapet de ce genre, on cherche à faire en sorte que tout accident, à la suite duquel ces chaudières auraient tendance à déverser dangereusement leur vapeur par la tuyauterie, mette en jeu les clapets de manière à arrêter le déversement. Par exemple, en cas de rupture de la conduite générale, tous les clapets auraient à se fermer; en cas d'explosion de l'une des chaudières, il faudrait qu'il y eût fermeture des clapets sur toutes les unités restées intactes. Ce programme n'est pas sans soulever quelques difficultés, au moins dans certaines industries. Pour qu'un clapet soit susceptible de rendre les services qu'on attend de lui, il faut qu'il soit suffisamment sensible aux accélérations du courant; mais il est des établissements où, au cours du fonctionnement normal, la vitesse dans les canalisations subit brusquement des variations d'une assez grande amplitude : soit qu'on emploie la vapeur à chauffer des appareils d'élaboration physique ou chimique qui en absorbent subitement de grandes quantités soit que la batterie alimente une machine puissante ayant des arrêts et des démarrages répétés, telle qu'une machine d'extraction de mine, etc. Au cas où les variations d'al-

lure du courant dans le service normal se rapprochent, par leur grandeur et leur promptitude, des accélérations que peut provoquer telle ou telle espèce d'avarie, il devient évidemment difficile de donner au clapet une sensibilité assez grande pour que cette avarie le fasse sortir du repos et, en même temps, assez modérée pour que le fonctionnement normal l'y laisse.

Ces remarques ne doivent pas conduire à rejeter les clapets du deuxième genre comme étant nécessairement paresseux ou instables. La crainte des fonctionnements intempestifs est loin d'avoir la même valeur dans toutes les industries. Les dispositifs de construction influent beaucoup, ainsi que le choix des emplacements, sur la facilité d'assurer à ces appareils un degré de sensibilité suffisant sans être excessif. Il faut seulement retenir que des distinctions judicieuses sont à faire et des soins à prendre dans l'application de ces clapets. On voit aussi que leur rôle propre, leur mode de fonctionnement, leur sensibilité limitée, en font des appareils notablement différents des clapets de retenue s'opposant au renversement du courant de vapeur et que, dans une installation bien comprise, ceux-là ne dispensent pas de ceux-ci.

Les constructeurs qui ont cherché à réunir les deux fonctions sur un même organe, en constituant des clapets susceptibles de se fermer dans les deux sens, n'ont pas facilité la solution.

Parmi les exposants, MM. Muller et Roger, de Paris, construisent le clapet Lucien Pasquier, en forme de disque plan, équilibré par un levier dont l'axe traverse la boîte et sur lequel est fixé un contrepoids extérieur. La position du contrepoids peut être réglée à volonté le long du levier.

MM. Hübner et Mayer donnent aussi à leurs clapets *directs*, dont la forme est caractéristique (fig. 159), un organe extérieur d'observation et de rappel constitué par un

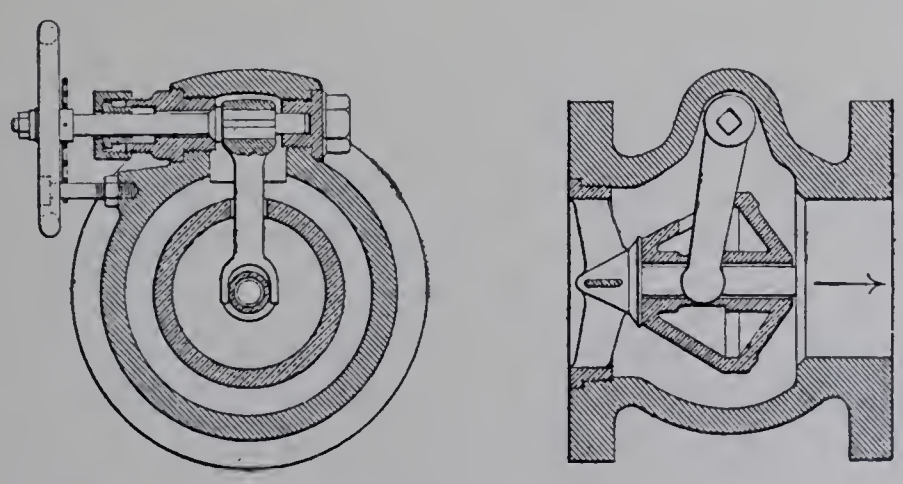


Fig. 159. — Clapet d'arrêt de vapeur fermant dans le sens direct. (Hübner et Mayer.)

petit volant. Si l'appareil doit être à double effet, ils ne demandent pas les deux fonctions à un même organe : la boîte contient deux clapets distincts, disposés chacun pour l'un des sens de fermeture.

Dans certains appareils, le clapet du premier genre joue en même temps le rôle de soupape de prise de vapeur, pouvant être appliqué sur son siège par une tige à vis;

au-dessous se trouve placé un clapet *direct* : c'est la disposition représentée par les figures 160 à 162.

M. Louis Pile emploie, au lieu de soupape, un piston ou tiroir cylindrique analogue à l'organe d'évacuation de vapeur de sa soupape de sûreté. Ce piston produit la fermeture lorsqu'il vient faire saillie à l'intérieur de la boîte; il est normalement tenu effacé par la différence des pressions qui s'exercent sur ses deux faces; mais, si le courant de

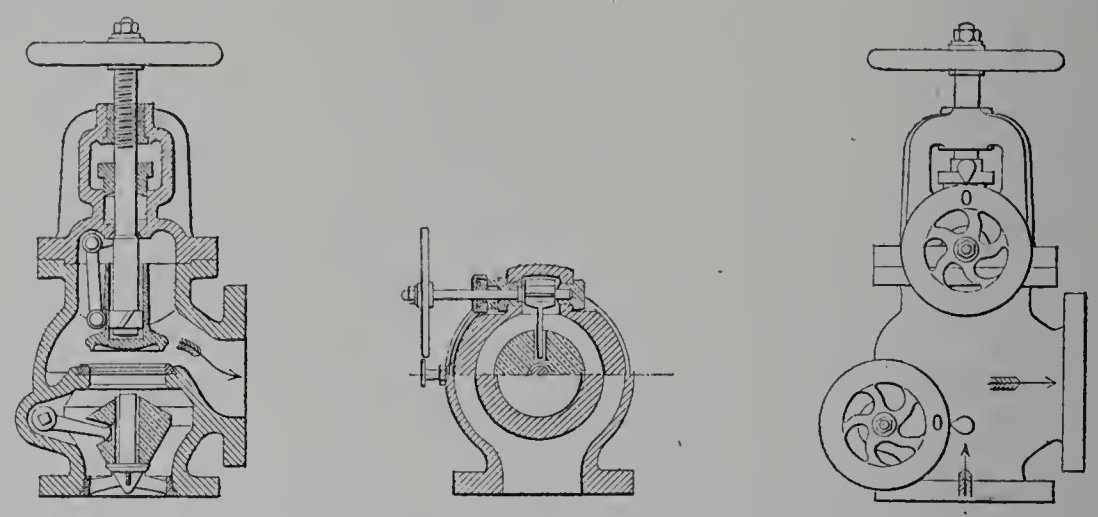


Fig. 160 à 162. — Soupape de prise de vapeur avec clapets d'arrêt fermant dans les deux sens. (Hübner et Mayer.)

vapeur se renverse (clapet du 1er genre) ou prend une vitesse excessive (2e genre), la pression sur la face postérieure doit se trouver augmentée par l'action d'une sorte de tube de Pitot et le piston projeté en avant.

Les chaudières Berninghaus ont été munies de clapets d'arrêt exposés par M. Math. Stinnes, de Mülheim-sur-la-Ruhr (Allemagne); ce sont des clapets-pendules dont l'organe de fermeture est un boulet suspendu dans le courant de vapeur.

§ 5. Canalisations de vapeur.

Soupapes et vannes d'arrêt; appareils divers. — Les principaux exposants des appareils de sûreté sont en même temps ceux des organes divers que l'on a à interposer sur les canalisations de vapeur : soupapes à main, robinets ou vannes d'arrêt, détendeurs, purgeurs, etc. Les figures 163 à 166 montrent, à titre d'exemples, quelques dispositions de soupapes d'arrêt et de détendeurs de vapeur. Un ensemble remarquable par le choix des modèles et le fini de la construction est notamment présenté par MM. Dikkers et Cie, de Hengelo (Pays-Bas). Nous avons déjà cité la maison allemande Schaeffer et Budenberg, les maisons américaines Crane, Lunkenheimer, etc. Mentionnons aussi la Walworth manufacturing Co, de Boston (Massachussets). Parmi les exposants français, on trouve comme spécialistes de ces fournitures MM. Muller et Roger, MM. Martel et Bousselet, etc.

Un certain nombre d'accidents ont été causés, depuis quelques années, par la rupture des boîtes des soupapes d'arrêt. Dans la plupart des cas, il s'agit d'une soupape de prise de vapeur montée sur une chaudière, et la boîte se brise pendant

qu'on manœuvre le volant pour mettre la chaudière en communication avec d'autres. Il a été quelquefois certain, d'autres fois probable, que la cause directe de l'accident avait été un coup d'eau. Ces faits montrent donc, d'abord, que les tuyauteries doivent être judicieusement tracées, munies de purgeurs automatiques aux points convenables, disposées en un mot pour éviter ces dangereux phénomènes, sur lesquels l'intéressante communication faite par M. Moritz, au *Congrès international de surveillance*

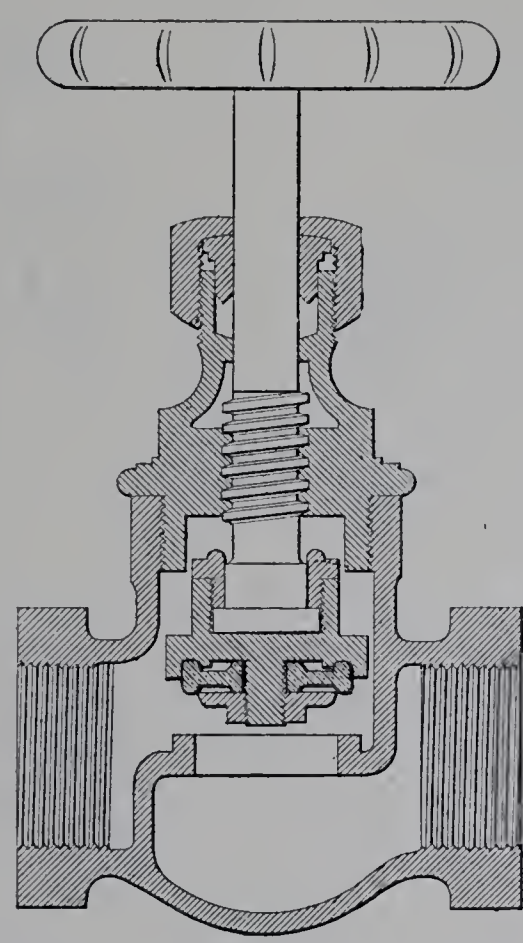


Fig. 163. — Soupape d'arrêt pour vapeur à haute pression, avec obturateur en cuivre. (Cie Crane.) L'appareil est établi pour la pression de 18 kilogr. 5 et éprouvé à 56 kilogrammes par centimètre carré.

et de sécurité en matière d'appareils à vapeur[1], a contribué à appeler l'attention des techniciens. Mais un autre enseignement doit être retenu : c'est que la résistance des boîtes a besoin d'être en rapport avec les efforts auxquels elles sont exposées et qui sont plus intenses, toutes choses égales d'ailleurs, depuis que les pressions en usage se sont notablement élevées. Il était classique autrefois de faire ces boîtes en fonte de fer; on emploie aujourd'hui le moulage d'acier doux. Il va sans dire que la simplicité des formes et le choix des épaisseurs doivent contribuer avec la qualité du métal à la haute résistance des boîtes.

L'organe de fermeture, pour les canalisations de section importante, est généralement une soupape tenue fermée par la tige de manœuvre et s'ouvrant dans le sens de l'écoulement de la vapeur. C'est la disposition qui ménage le mieux la fatigue de la boîte tout en facilitant l'ouverture. On obtient plus aisément une parfaite étanchéité

[1] *24e Congrès des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, p. 119. Voir aussi les observations présentées par M. Terré à la troisième séance du Congrès, p. 435.

IMPRIMERIE NATIONALE.

au moyen d'une double vanne pressée sur son siège par un effet de coin, d'après le principe des *peet-valves;* mais on sait que certains appareils de cette classe ont donné

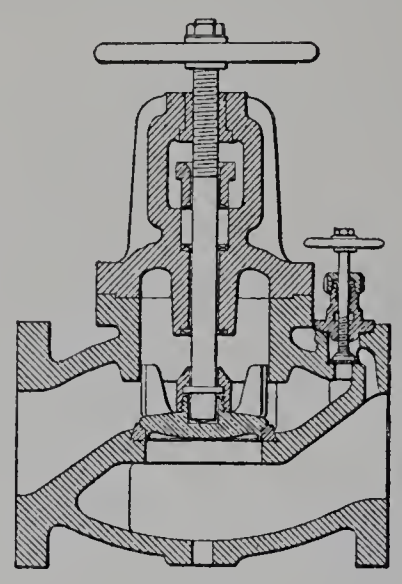


Fig. 164. — Soupape d'arrêt avec soupape auxiliaire facilitant l'ouverture. (Hübner et Mayer.)

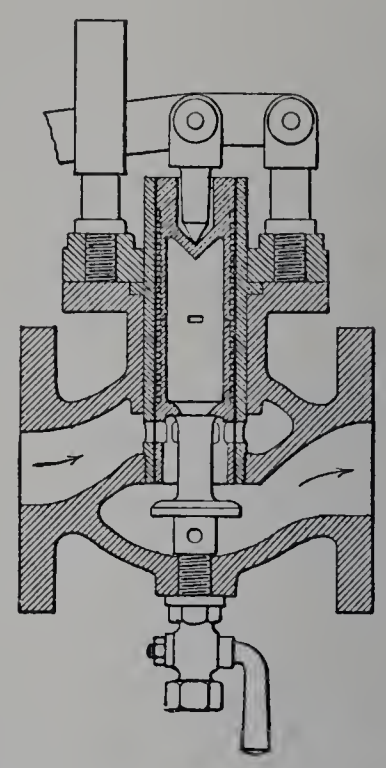


Fig. 165. — Détendeur. (Hübner et Mayer.)

lieu à de graves accidents par suite de ruptures de boîtes, attribuées aux efforts excessifs d'écartement des plateaux obturateurs : ce principe ne doit donc être appliqué

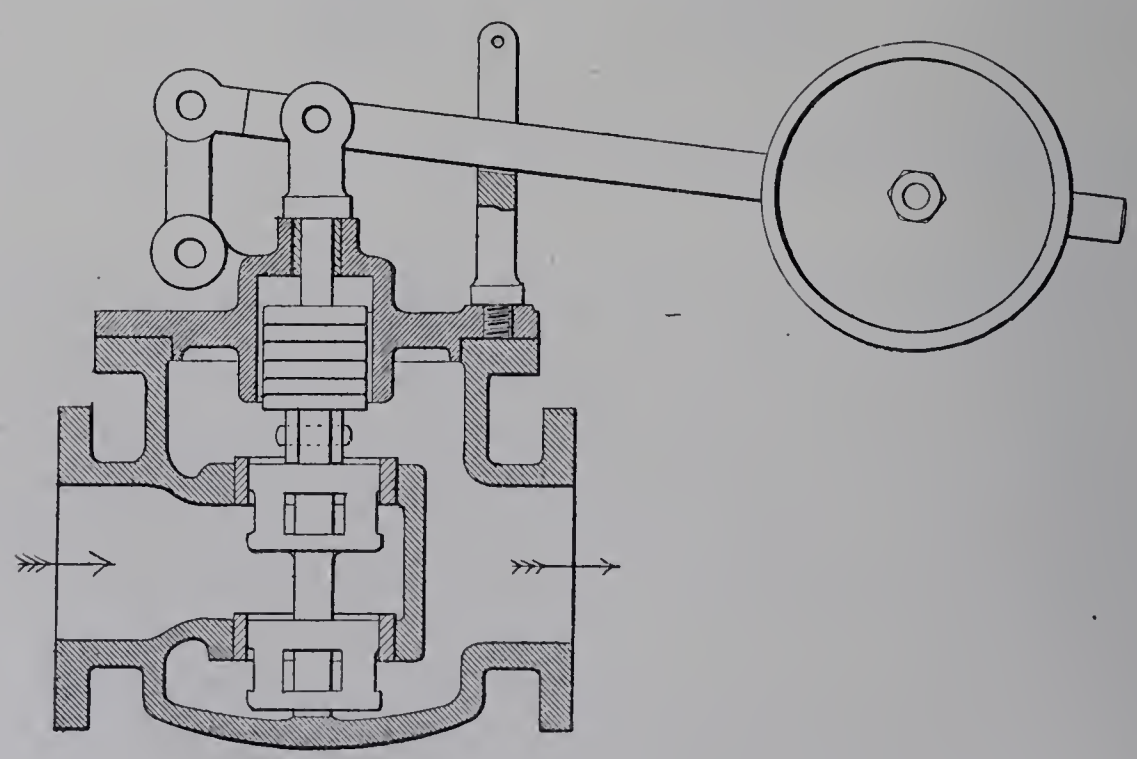


Fig. 166. — Détendeur. (Dikkers et Cie.)

qu'avec discernement. A l'Exposition, les conduites de distribution de 250 millimètres de diamètre ont été munies par MM. Muller et Roger de vannes de ce système.

L'Administration a interdit l'emploi de la fonte de fer dans la construction de ces appareils : ils sont tout entiers en bronze spécial, boîte comprise.

Tuyauteries. — L'installation générale des tuyauteries de vapeur appelle des soins de plus en plus attentifs et la mise en œuvre de principes nouveaux, depuis que les

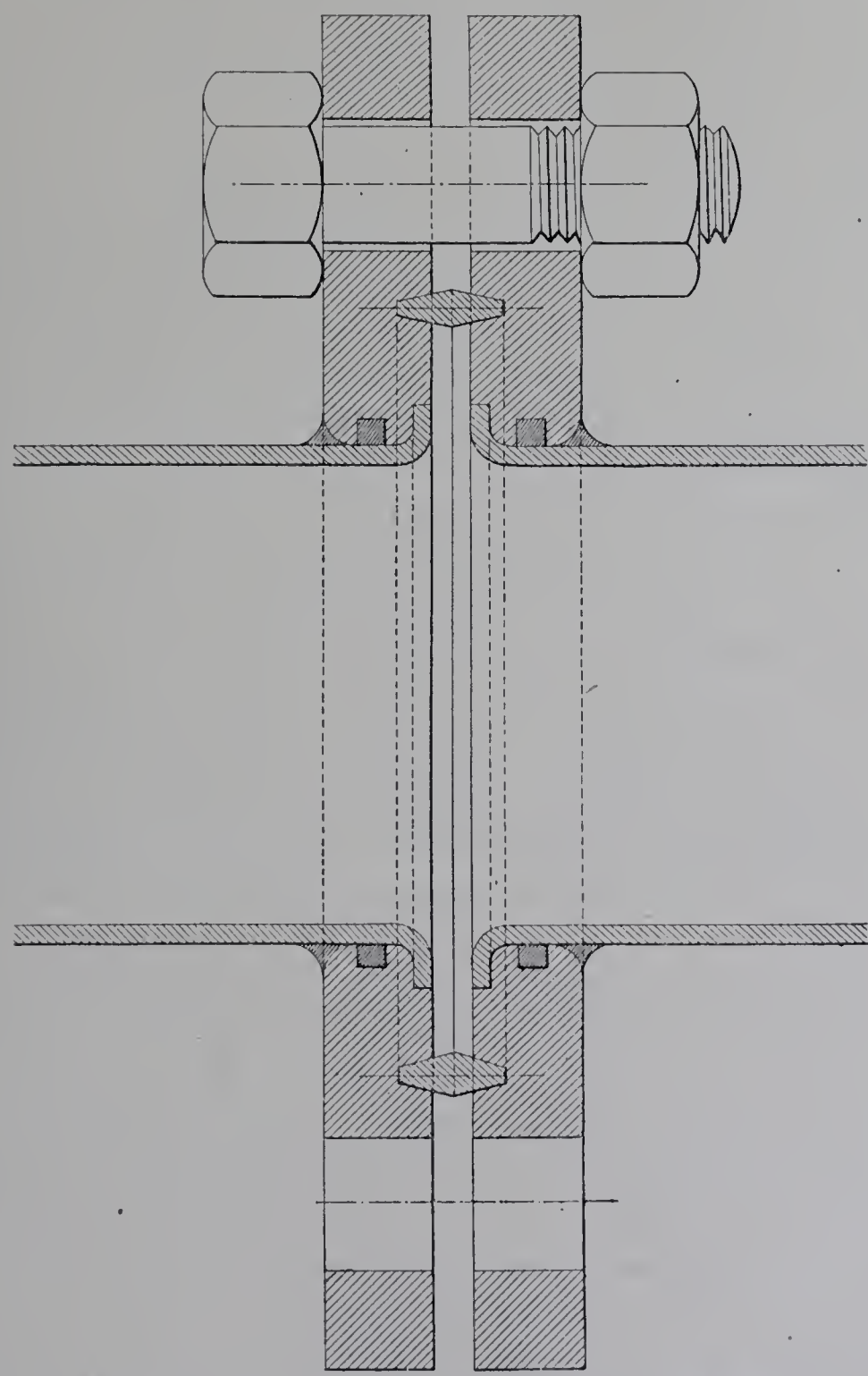


Fig. 167. — Raccord à joint métallique, sur tuyaux de cuivre. (MM. Meunier et Cie.)

pressions en usage sont plus fortes, les températures de la vapeur plus élevées, et que l'expérience a mieux appris à connaître certaines causes de danger. Le cuivre était autrefois le métal classique pour toutes les tuyauteries. Il est encore largement employé tant que la pression et la température du fluide à canaliser ne dépassent pas

certaines limites; on en voit à l'Exposition nombre d'applications et certains constructeurs, MM. Meunier, par exemple, présentent des spécimens intéressants de la fabrication de ces tuyaux et de leurs brides de raccord (fig. 167). Citons aussi la belle exposition de tuyaux de cuivre de la maison Veuve Brun et Cie, de Paris. Mais, outre que les procédés employés pour la fabrication des tuyaux de cuivre n'ont pas été tous également bons, l'élévation de la température modifie les qualités mécaniques de ce métal. La tendance actuelle est de lui substituer l'acier doux; pour les canalisations de vapeur à très haute pression, c'est une réforme indispensable qui, dans certaines applications, n'a que trop tardé.

Les dispositions destinées à assurer le libre jeu des dilatations se ressentent nécessairement du changement. Sur les anciennes canalisations en cuivre, on absorbait les dilatations par l'élasticité de parties infléchies ou de boucles. Les tuyaux de fer ou d'acier doux se disposent préférablement en ligne droite; leurs dilatations sont rendues libres par mouvement télescopique, au moyen de boîtes de dilatation à joint glissant disposées aux points convenables. Leur mode d'assujettissement et de guidage doit exclure les déboîtements.

Des recherches récentes ont mis en lumière une circonstance qui facilite les installations. C'est que, pour les besoins de l'écoulement et de la distribution de la vapeur, les sections en usage sont d'ordinaire plus grandes qu'il ne serait nécessaire. En diminuant le diamètre, on élève la résistance des tuyaux, on réduit les condensations, on rend les canalisations moins coûteuses et moins encombrantes. Cela vaut bien un léger accroissement de la perte de charge, d'autant plus que les types des générateurs modernes se prêtent sans difficulté à la production des fortes pressions et que, dans le fonctionnement de ces appareils, ce qui accroît la consommation de combustible est beaucoup moins d'élever la pression de la vapeur que d'en augmenter la quantité.

Dans la canalisation de la vapeur surchauffée, il est particulièrement à propos de réduire au minimum le diamètre des tuyaux et, par suite, la surface de rayonnement.

Pour les canalisations de diamètre restreint, on peut employer des tubes d'acier étiré sans soudure et reliés les uns aux autres par des manchonnements. C'est ainsi qu'ont été établies les tuyauteries desservant plusieurs grandes machines de la section allemande : ces intéressantes fournitures étaient l'œuvre de MM. Franz Seifert et Cie, de Berlin.

M. Rud. Chillingworth, de Nuremberg, s'est fait une spécialité de la fabrication de pièces de raccord pour canalisations à haute pression.

Les joints ordinaires à brides et boulons se font généralement avec interposition d'une matière plastique. Il ne faut pas que celle-ci soit altérable par la chaleur. L'amiante rend de bons services. On peut également former des joints étanches par l'interposition d'une bague de cuivre entre deux brides creusées d'une légère gorge pour la recevoir; c'est le procédé employé par MM. Meunier et Cie.

Un certain nombre d'exposants présentent des rondelles et des bagues pour joints, faites d'amiante et de cuivre diversement associés.

Enveloppes calorifuges. — Dans la fabrication des produits calorifuges destinés à envelopper les conduites de vapeur et parfois certaines parties des chaudières, des matières fort variées sont mises à contribution. L'important est qu'elles ne se désagrègent pas, qu'elles ne se détériorent pas à la chaleur des tuyaux et qu'elles soient suffisamment poreuses pour enfermer beaucoup d'air dans leur masse, afin d'être à la fois très mauvaises conductrices de la chaleur et suffisamment légères. Certains fabricants s'en tiennent à l'emploi du feutre, comme M. Odilon Lion, de Camps (Var), ou du liège, comme la Société anonyme des lièges appliqués à l'industrie. D'autres mettent à profit les propriétés de l'amiante : citons l'Ambler asbestos air-cell covering C°, de New-York, dont les revêtements sont rendus à la fois légers et efficaces par une ingénieuse constitution cellulaire. MM. Denniel et Cie, de Paris, font usage du liège et de l'amiante. MM. Émile Müller et Cie, d'Ivry, fabriquent d'intéressants calorifuges au moyen d'une laine de scorie de qualité appropriée. Les revêtements isolateurs de MM. Rueinhold et Cie, de Hanovre, et ceux de M. Jules Vandercleyen, de Bruxelles, sont formés de tripoli (farine fossile siliceuse).

IX

APPAREILS D'ALIMENTATION, D'ÉPURATION DES EAUX ET DE NETTOYAGE.

§ 1. Appareils d'alimentation.

Pompes alimentaires. — Les pompes d'alimentation peuvent être solidaires des machines principales ou actionnées par des moteurs spéciaux : dans ce dernier cas, l'usage industriel a consacré, pour l'ensemble de la pompe et de son moteur, la dénomination de petit-cheval alimentaire.

Rien d'intéressant n'est à signaler au sujet des pompes alimentaires conduites par les machines principales. Cette disposition classique, très employée dans l'industrie pour le service des générateurs à grand volume d'eau, ne se trouve guère représentée à l'Exposition que sur des locomobiles.

Quant aux petits-chevaux, on en trouve dans la Classe 19 plusieurs intéressants spécimens, exposés soit en fonctionnement, pour l'alimentation des générateurs actifs, soit à l'état inerte. Toutefois, considérées d'un point de vue général, les pompes à vapeur ont une variété d'applications qui les fait naturellement rentrer parmi les objets de la Classe 21. C'est celle-ci qu'il faut visiter pour trouver les appareils exposés par cer-

tains constructeurs dont les pompes sont largement répandues et hautement appréciées comme petits-chevaux alimentaires; il suffit de mentionner que tel est le cas de la Compagnie Worthington et de la Fabrique de pompes Blake, de New-York, pour montrer le caractère incomplet de l'exposition de notre Classe à cet égard.

Les petits-chevaux ont presque toujours le corps de pompe disposé en prolongement du cylindre à vapeur : piston à vapeur et piston hydraulique sont montés sur une même tige. Si l'appareil comprend deux cylindres à vapeur, il y a aussi deux pompes et la disposition est la même pour chacune d'elles. Le jeu essentiel du système ne comprend donc que des mouvements rectilignes alternatifs. On ajoute cependant assez souvent un arbre et un volant, afin de faciliter la distribution de la vapeur et l'emploi de la détente. C'est une disposition usitée de longue date, par exemple dans tous les petits-chevaux Thirion d'anciens modèles.

La suppression du volant diminue l'encombrement et permet de faire varier instantanément l'allure. Certaines pompes à vapeur n'ont point de volant et conservent cependant un arbre tournant : ce sont des engins ayant plusieurs cylindres à vapeur associés parallèlement, dont on relie les pistons aux manivelles d'un même arbre afin d'en coordonner les mouvements, d'assurer le passage des points morts et de faciliter la distribution de vapeur. Mais les petits-chevaux sans volant n'ont en général aucun organe rotatif. Ce sont des engins particulièrement peu encombrants et qu'il est facile (la force vive du mécanisme passant par zéro à chaque coup de piston) de placer sous la dépendance d'un régulateur automatique d'alimentation : il suffit d'un étranglement plus ou moins accentué sur la conduite de refoulement pour faire varier immédiatement la vitesse. Par contre, la suppression du mouvement de rotation exige des systèmes spéciaux de distribution. On est obligé de faire travailler la vapeur exclusivement à pleine pression, ou du moins la détente ne peut être utilisée qu'à la faveur d'artifices spéciaux. La vitesse linéaire des pistons ne peut être que restreinte, car il faut que le mouvement soit amorti aisément en fin de course. Dans ces conditions, les petits-chevaux sans volant sont rarement des appareils économiques eu égard à leur puissance; mais la souplesse de leur débit convient bien pour l'alimentation des générateurs à petit volume d'eau. Leur construction et leur entretien réclament des soins et l'on ne saurait se dispenser d'en surveiller le jeu.

Les petits-chevaux construits par MM. Delaunay-Belleville et Cie n'ont qu'un cylindre à vapeur avec pompe à double effet en prolongement (fig. 168). Ils étaient autrefois toujours horizontaux : on réalise aujourd'hui, en les disposant verticalement, une réduction d'encombrement particulièrement appréciable dans certains milieux, à bord des navires par exemple. Ces appareils fonctionnent sans détente; on utilise souvent la chaleur de leur vapeur d'échappement pour réchauffer l'eau d'alimentation. La distribution de vapeur, obtenue au moyen d'un tiroir, est renversée en fin de course par un basculeur sur lequel agit une came fixée sur la tige commune des deux pistons. L'admission de la vapeur sur la face motrice est supprimée; presque aussitôt après l'admission sur l'autre face commencera, pourvu que la came continue son chemin. Il faut

donc éviter qu'entre ces deux instants le mouvement s'arrête : à cet effet, la résistance du refoulement de l'eau est coupée vers la fin de chaque course, par le soulèvement d'un clapet de retour, commandé par un levier que rencontre le piston à eau. On peut assurer ainsi la succession ininterrompue des va-et-vient aux allures les plus ralenties : lorsque le régulateur d'alimentation est fermé, un petit-cheval dont la distribution est en bon état peut continuer à marcher tout doucement sur les fuites des segments du piston à eau.

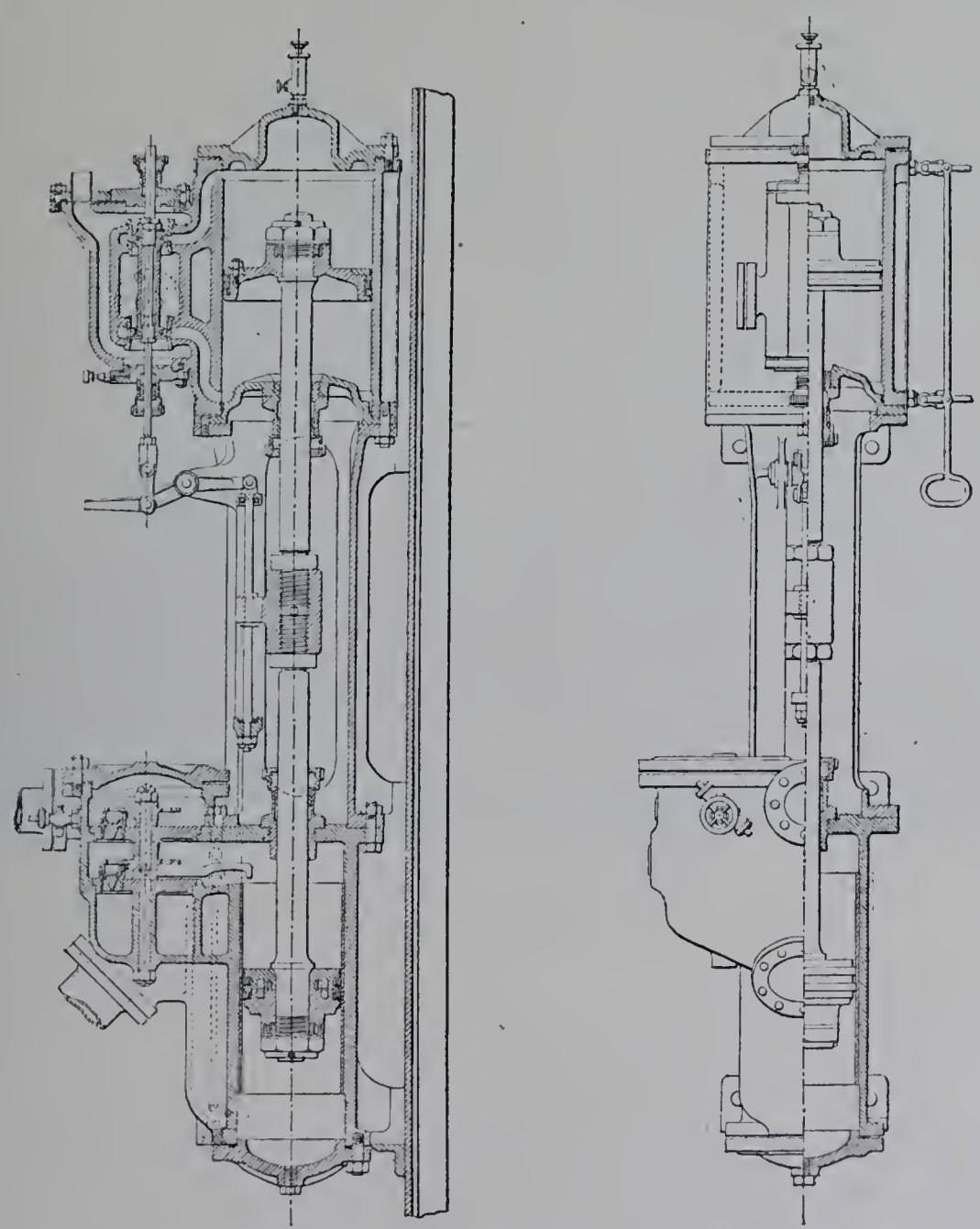


Fig. 168. — Petit-cheval Belleville (disposition verticale)

On peut assurer la succession des mouvements par d'autres artifices. On sait que celui employé par la Cie Worthington consiste à conjuguer parallèlement deux pompes, dont l'une commande la distribution de l'autre. Le mécanisme n'est plus à tocs, mais à liaisons : la commande du tiroir de droite est prise par un levier de renvoi sur la tige du piston de gauche, et réciproquement. Les tiroirs sont à recouvrements. Quand le piston de gauche approche de la moitié de sa course, le tiroir de droite qui en fait autant étrangle, puis interrompt l'arrivée de vapeur sur l'une des faces du piston de

droite; la vapeur est admise sur l'autre face de celui-ci quelques instants plus tard et d'une manière progressive, après que le piston de gauche et le tiroir qu'il conduit ont accompli plus de la moitié de leur excursion. Par conséquent, le piston de droite stoppe progressivement, puis après un temps d'arrêt se trouve remis en marche en sens inverse. Les deux pompes prennent des mouvements décalés dont la douceur est remarquable.

Au lieu de deux cylindres à vapeur égaux conduisant chacun une pompe, on peut, dans le même ordre d'idées, associer à un cylindre moteur unique, pour en-actionner le tiroir, un petit cylindre auxiliaire ayant sa distribution commandée par la tige du piston principal. MM. Thirion et fils emploient ce genre de distribution *à relais* dans leurs nouveaux modèles de petits-chevaux sans volant (fig. 169). Ce sont des appareils

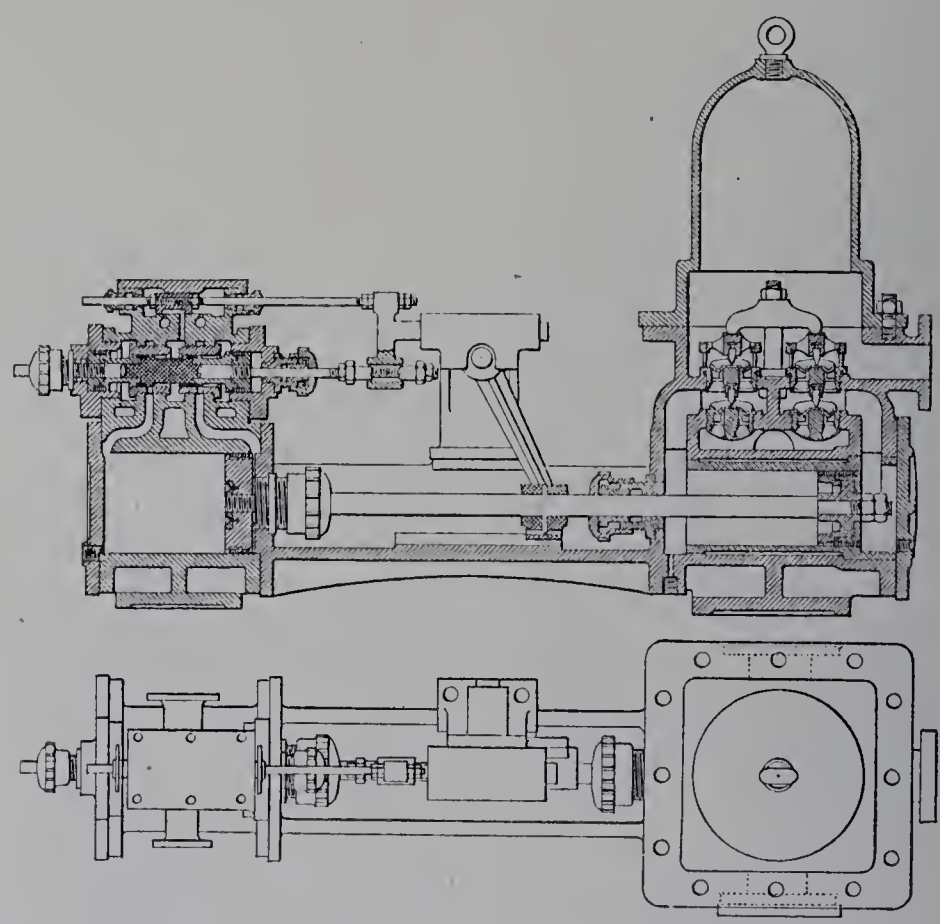


Fig. 169. — Petit-cheval Thirion.

qui battent de 80 à 100 coups simples par minute. Lorsqu'ils doivent fonctionner à haute pression, on substitue aux tiroirs plans des tiroirs cylindriques, afin de faciliter le graissage et de réduire l'usure.

MM. Thirion sont exposants à la fois dans la Classe 21 et dans la Classe 19. C'est au moyen de leurs petits-chevaux que sont alimentés les générateurs Niclausse de l'usine La Bourdonnais (fig. 170).

Comme constructeurs étrangers exposant, dans la Classe 19, des petits-chevaux d'alimentation, signalons MM. G. et J. Weir, de Glasgow (Grande-Bretagne), et la Fabrique de Machines et d'Armatures (ancienne maison Klein, Schanzlin et Becker), de Frankenthal (Allemagne). MM. Weir ont constitué une série de types de pompes alimentaires, applicables soit à bord des bateaux, soit dans les installations fixes, et

remarquables par le choix des matériaux et le fini de la construction. La Fabrique de Machines et d'Armatures expose une pompe à deux cylindres compound, avec volant, qui se distingue par l'originalité de sa distribution à tiroir; cet appareil alimente un groupe de chaudières allemandes de l'usine Suffren, auxquelles il fournit 25 mètres cubes d'eau par heure en tournant à 60 tours par minute.

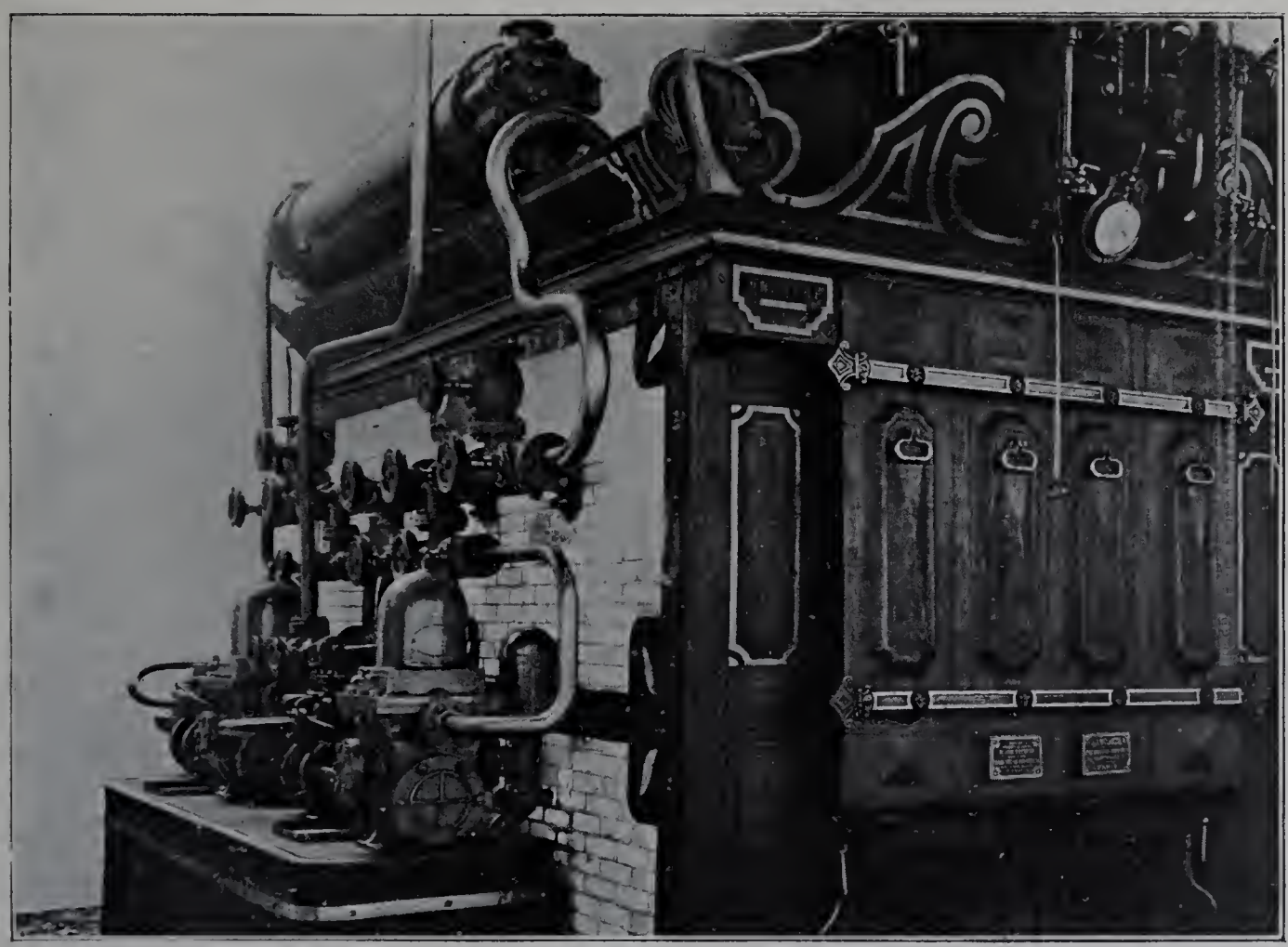


Fig. 170. — Installation des appareils Thirion alimentant une batterie de générateurs Niclausse. (Usine La Bourdonnais.)

Injecteurs. — L'injecteur n'a cessé d'être, depuis Giffard, un appareil précieux dans tous les cas où son emploi convient. Il sert à l'alimentation *à la main*, c'est-à-dire à l'alimentation discontinue sous le gouvernement immédiat du chauffeur : on ne saurait donc lui demander de suffire pour le service de certains générateurs à petit volume d'eau, dont le régime ne peut être maintenu que par l'intervention d'appareils automatiques. Il réchauffe l'eau d'alimentation, à l'aide de chaleur prise généralement dans la chaudière (il y a exception pour les injecteurs à vapeur d'échappement); cette opération qui, au point de vue thermique, ne procure ni perte ni gain, est exclusive de l'économie que l'on réaliserait en effectuant le même réchauffage dans un réchauffeur adjoint à la chaudière, ce qui permettrait de pousser plus loin l'utilisation de la chaleur des gaz de la combustion : mais l'emploi d'un réchauffeur n'est pas toujours possible. La construction d'un injecteur veut être précise et son entretien exige des soins : mais, s'il est en bon ordre, il est prêt à servir à tout instant; il est sûr, en ce sens que ses défaillances ne passent pas inaperçues. Il est parfaitement approprié au rôle

d'appareil de secours ou de réserve. Enfin il ne dissipe presque pas d'énergie : la chaleur qui n'est pas transformée en travail de refoulement de l'eau d'alimentation est presque tout entière employée à réchauffer cette eau et fait retour au générateur.

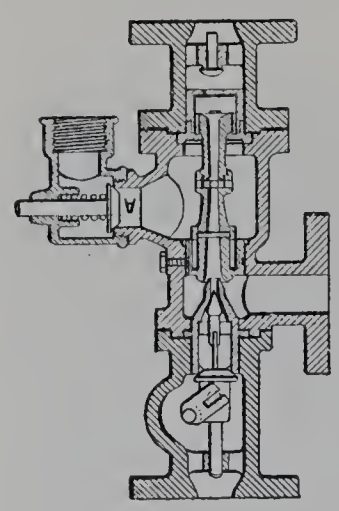


Fig. 171. — Injecteur à reprise automatique. (Dikkers et Cie.)

Le type ancien de Giffard conserve ses mérites : c'est celui qu'expose la Société lyonnaise de Mécanique et d'Électricité, de Paris. Les nombreuses variantes dont il a été l'objet ont eu pour but, soit d'étendre les applications, soit de faciliter la manœuvre.

Des injecteurs, aspirants ou non, dont quelques-uns spécialement étudiés pour refouler l'eau à haute pression et à haute température, sont présentés par un certain nombre d'habiles constructeurs. Citons en particulier la Cie William Sellers, de Philadelphie, dont la notoriété est universelle; parmi les autres maisons américaines, la Lee injector manufacturing Co, de Detroit (Michigan); parmi les constructeurs français, M. Ferdinand Bohler, M. Charles Cavelier de Mocomble, M. J. Borel, constructeur actuel du type Vabe.

Les fig. 171 et 172 représentent les types d'injecteurs à reprise automatique (*re-starting*) de MM. Dikkers et de la Compagnie Lunkenheimer. La soupape A (fig. 171) s'applique d'elle-même sur son siège et demeure fermée tant que le jet

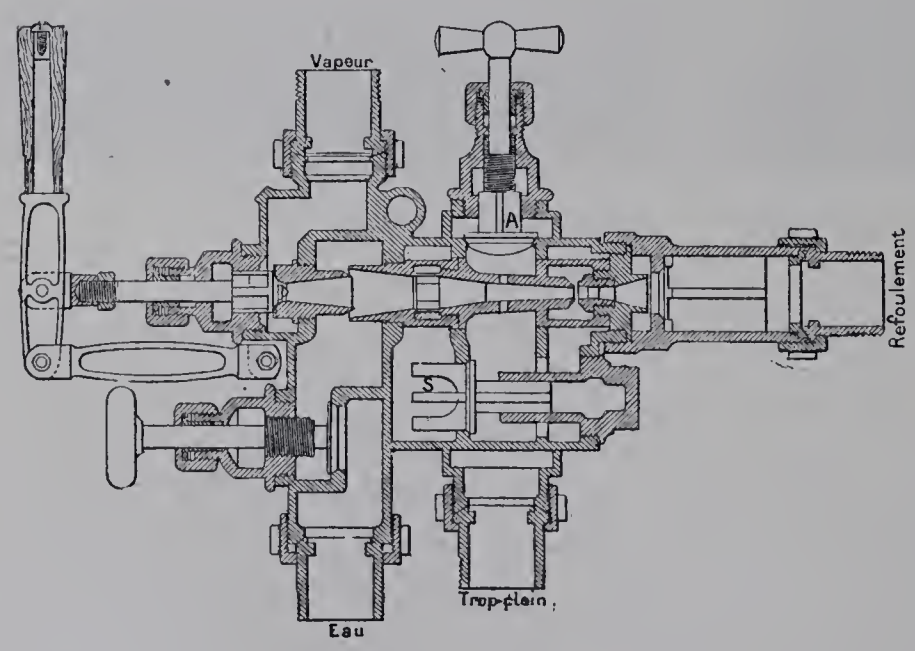


Fig. 172. — Injecteur à reprise automatique. (Lunkenheimer.)

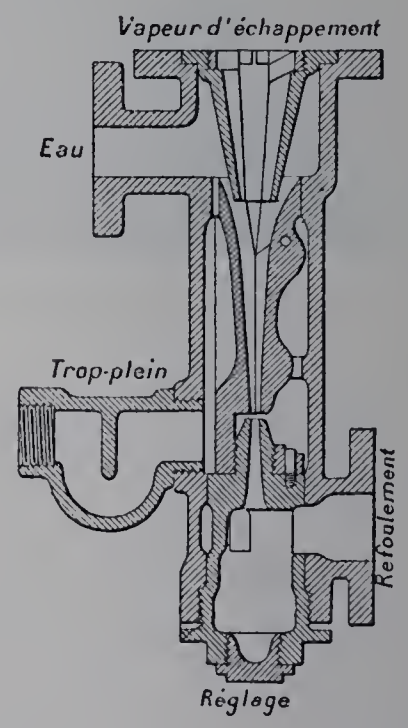


Fig. 173. — Injecteur à vapeur d'échappement, système Davies et Metcalfe. (Patent exhaust steam injector Co.)

de vapeur entretient un vide dans la chambre du trop-plein, ce qui fait persister la force nécessaire à l'ascension de l'eau par le tuyau d'aspiration. Dans le type de la fig. 172, le convergent communique avec plusieurs chambres de trop-plein successives, où la dépression s'établit par le jeu des deux soupapes automatiques S et A.

D'autres modifications du système primitif ont eu pour but, dans le cas où il est fait usage d'une machine sans condensation, d'actionner l'injecteur au moyen de la vapeur d'échappement de la machine. Cette vapeur étant généralement inutilisée, on réalise un bénéfice net, représenté par le refoulement de l'eau d'alimentation et par son réchauffage. Pas tout à fait, cependant : les injecteurs d'échappement possèdent une prise de vapeur vive qu'il est généralement nécessaire de faire plus ou moins intervenir, au moins pour la mise en train. On reproche à ces appareils de n'être pas d'une manœuvre très simple. Quoi qu'il en soit, d'intéressants modèles d'injecteurs de cette classe sont présentés par la Patent exhaust steam injector C°, de Manchester, qui construit le type Davies et Metcalfe (fig. 173), et par MM. Schaeffer et Budenberg.

§ 2. Épurateurs d'eau d'alimentation.

Des dispositions judicieuses de la chaudière, l'alimentation dans la vapeur et, s'il est fait usage d'un réchauffeur, un choix prudent du rapport entre la surface de chauffe de cet appareil et celle du générateur proprement dit : ce sont là des moyens permettant, dans une assez large mesure, de localiser les dépôts en dehors des surfaces de chauffe et d'éviter qu'ils se forment en stratifications adhérentes. Mais le poids du précipité reste le même. Il arrive souvent, soit à raison de la nature de l'eau dont on dispose, soit à raison du type du générateur, que cette quantité serait trop grande pour un fonctionnement sûr ou un nettoyage facile des appareils. C'est alors le cas d'épurer l'eau d'alimentation avant de l'envoyer dans le réchauffeur ou dans le générateur.

Sur mer, à bord des navires, les machines sont pourvues de condenseurs par surface et toute l'alimentation, sauf la réparation des pertes, est faite au moyen de l'eau produite par la condensation de la vapeur. Une épuration de cette eau s'impose néanmoins et réclame même un soin attentif : c'est le filtrage nécessaire pour éliminer l'huile provenant du graissage de la machine. Quant à la réparation des pertes, elle est faite soit à l'eau de mer, soit mieux à l'eau distillée : ce dernier procédé, indispensable avec certains types de chaudières, exige que l'on ait à bord un appareil distillatoire, ou *bouilleur*. Bien que ce soit là un appareil spécial aux navires, MM. G. et J. Weir, qui sont des spécialistes pour ce genre d'installations, exposent dans notre Classe leur plus récent système de *bouilleur*, type Marius Jullien (fig. 174). L'eau à distiller, contenue dans un récipient cylindrique que surmonte un vaste dôme de vapeur, est chauffée par une circulation de vapeur parcourant un serpentin. Les dispositions de l'appareil sont étudiées en vue d'un nettoyage très facile : une fois la porte ouverte comme on le voit sur le dessin, le serpentin peut être aisément rendu libre et basculé sur le devant. Cet appareil se construit en une série de dimensions correspondant à des productions de 5 à 40 tonnes d'eau distillée par jour; le modèle pour 40 tonnes d'eau occupe un emplacement horizontal de $1^m 60 \times 0^m 89$ avec une hauteur de $2^m 44$.

A terre, les condenseurs par surface ne sont guère employés jusqu'à présent : pour-

tant la similitude qui existe déjà pour les chaudières et pour les machines, entre certaines installations d'usines et les appareils de navigation, a conduit à compléter l'analogie et à l'étendre au mode de condensation de la vapeur et d'alimentation des chaudières. La machine à vapeur à grande vitesse exposée par MM. Delaunay-Belleville et Cie est munie d'un condenseur par surface qui sera décrit au chapitre VI.

Mais, dans la très grande majorité des cas, l'eau employée à l'alimentation provient, soit directement du puits ou de la rivière, soit d'un condenseur par mélange, ce qui revient à peu près au même. Il importe extrêmement de se rendre compte de la nature de cette eau et de lui faire subir, s'il y a lieu, le traitement préalable nécessaire; les

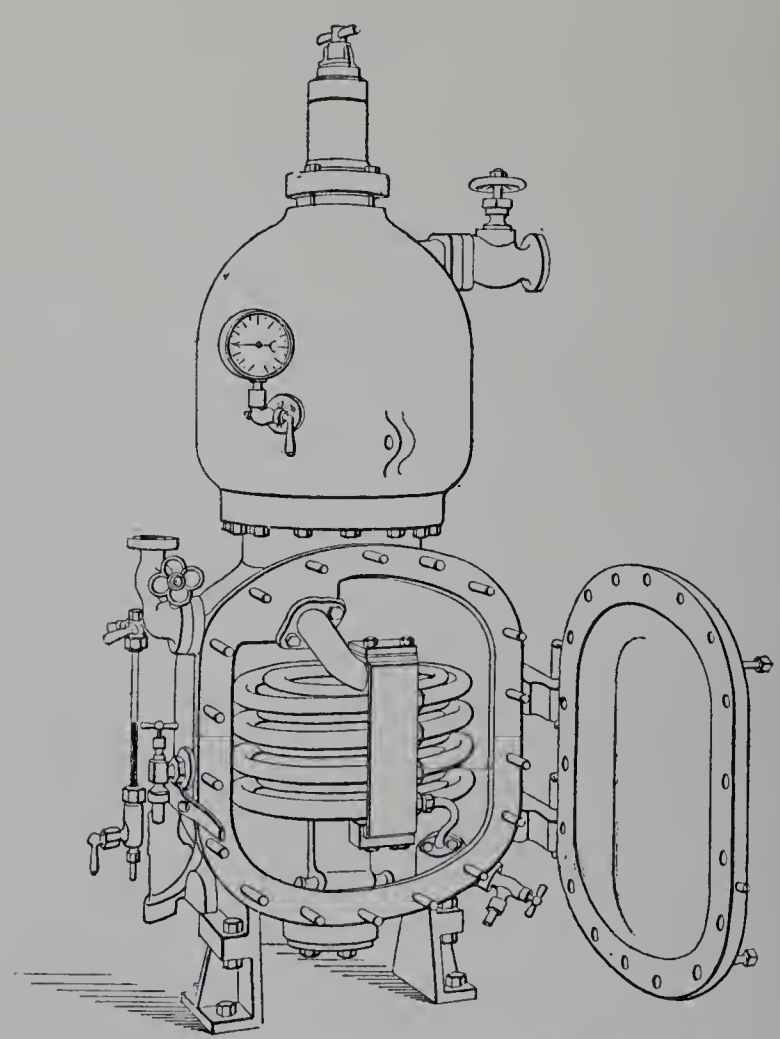


Fig. 174. — Bouilleur Weir, type Marius Jullien.

variations mêmes de sa composition doivent être surveillées de près; on a vu, faute de ces précautions, alimenter des chaudières avec des liquides acides, qui corrodaient les tôles, ou avec une eau chargée de chlorures.

Il va sans dire — ou il devrait aller sans dire — qu'un même traitement ne saurait convenir à tous les cas et que c'est l'analyse de l'eau, répétée au besoin, qui peut seule donner la formule de l'épuration.

Le plus souvent, on a simplement affaire à des eaux calcaires et plus ou moins séléniteuses. C'est principalement en vue de ce cas ordinaire que l'on s'est attaché à constituer les appareils d'épuration.

Réchauffeurs-détartreurs. — Un chauffage à l'air libre, à la température de 100 degrés, suffit pour précipiter le carbonate de calcium. C'est le principe des réchauffeurs-détartreurs, qui sont assez usités en France et que présentent plusieurs exposants, notamment M. Chevalet, de Troyes, MM. Mazeran et Sabrou, de Paris, etc. C'est au moyen de vapeur que l'on chauffe ces détartreurs. L'appareil, en forme de colonne, comprend une série de cuves superposées, où l'eau d'alimentation, admise à la partie supérieure, s'étale en se déversant de l'une à l'autre par voie de trop-plein; la vapeur passe d'un compartiment à l'autre en barbotant successivement dans l'eau des différentes cuves, où la majeure partie du dépôt se trouve retenue. Au bas est un réservoir de décantation, où il faut que la partie du carbonate restée en suspension se sédimente en eau tranquille, de manière que le liquide sorte clarifié. Comme il est encore à une température voisine de 100 degrés, il est nécessaire, pour l'introduire dans le générateur, d'employer une pompe installée en contre-bas, afin que l'eau soit en charge sur celle-ci.

MM. Howatson et Cie, de Neuilly-sur-Seine, ont un type de réchauffeur-détarteur dont le fonctionnement repose sur les mêmes principes : l'eau descend en cascade sur une série de plateaux horizontaux, offrant à la vapeur une surface de contact étendue.

Fait-on usage d'une machine sans condensation, on trouve là une utilisation avantageuse pour une partie (un cinquième environ) de la vapeur d'échappement, qui autrement serait perdue. A ceci près que ce mode de réchauffage est exclusif de l'économie que procurerait un réchauffeur chauffé par les gaz de la combustion, le fonctionnement de l'appareil ne coûte rien : amendement et réchauffage de l'eau sont à compter comme bénéfice net. Il est fort important, dans ce cas, de se précautionner contre l'huile apportée par la vapeur. M. Chevalet interpose sur la conduite d'arrivée une *boîte de dégraissage* où la vapeur frappe contre une cloison d'égouttage, pour éliminer les vésicules grasses. MM. Mazeran et Sabrou chicanent aussi la vapeur à son entrée dans l'appareil. En outre, on indique comme utile, pour achever d'éliminer l'huile, de faire parcourir à la vapeur les compartiments successifs de la colonne, non pas en sens inverse de l'eau, c'est-à-dire de bas en haut, mais de haut en bas, les traces d'huile se trouvant dès lors empâtées dans le tartre des cuves supérieures et l'eau s'en trouvant ainsi débarrassée.

Lorsqu'on ne dispose pas de vapeur d'échappement, le fonctionnement du réchauffeur-détarteur exige l'emploi d'un filet de vapeur vive prise à la chaudière : la chaleur empruntée à celle-ci est, il est vrai, rendue par l'eau d'alimentation, mais non pas intégralement : il y a nécessairement une perte et l'épuration n'est pas gratuite.

Lorsque l'eau dont on dispose est chargée à la fois de carbonate et de sulfate de calcium, la précipitation du carbonate au moyen d'un réchauffeur-détarteur peut dans certains cas constituer une première partie du traitement : il reste, pour se débarrasser du sulfate dont la solubilité à 100 degrés est encore considérable, à traiter chimiquement l'eau sortant du détartreur, par exemple au moyen de carbonate de sodium, afin de former du carbonate de calcium qui précipite et du sulfate de sodium qui reste dissous

sans inconvénient. L'eau doit être ensuite clarifiée à nouveau par sédimentation et filtrage, afin de la débarrasser du carbonate auquel cette réaction donne naissance.

Épurateurs à froid. — Assez généralement, c'est à froid et par des traitements chimiques que l'on effectue toute l'épuration. Si l'eau n'est que calcaire et non séléniteuse, une addition convenable de chaux suffit pour transformer le bicarbonate dissous en carbonate qui précipite et qu'il ne reste qu'à séparer par voie de décantation et de filtrage en même temps que l'excès de chaux. Si l'eau est chargée à la fois de carbonate et de sulfate, le mode d'épuration le plus usuel consiste à la traiter par la chaux et par le carbonate de sodium.

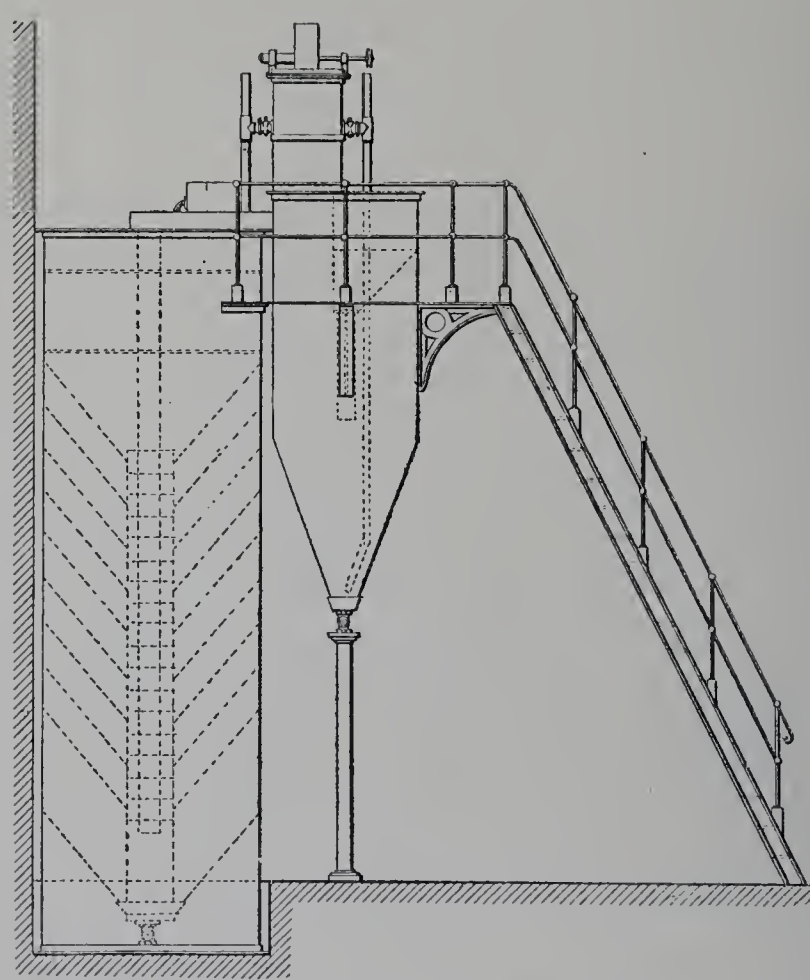


Fig. 175. — Épurateur vertical de la Société de La Madeleine (système Paul Gaillet).

On cherche à rendre, aussi exactement que possible, le traitement complet sans excès de réactifs. A cet effet, deux conditions sont nécessaires :

1° Les réactifs doivent être contenus dans des liqueurs à teneur fixe;

2° Le mélange de chacune de ces liqueurs avec l'eau à épurer doit avoir lieu en une proportion déterminée, qui n'a pas à varier tant que la composition de cette eau demeure la même.

Relativement à la première condition, il n'est pas difficile de faire une solution de carbonate de sodium d'une teneur donnée; pour la chaux, on ne peut être sûr de la teneur qu'en préparant de l'eau de chaux saturée et claire, ce qui nécessite d'abord un

brassage ou un malaxage avec une bouillie de chaux, puis la clarification de la liqueur par différence de densité.

Quant à la seconde condition, elle doit être réalisée quelles que soient les variations de l'alimentation des générateurs, sans nécessiter cependant de trop volumineux réservoirs.

A ces difficultés s'en ajoute une autre, qui n'est pas la moindre : il faut assurer la séparation des précipités malgré leur état d'extrême division. Pour y parvenir sans être obligé de donner aux cuves de dépôt un encombrement excessif, il convient de faire intervenir successivement la sédimentation et le filtrage.

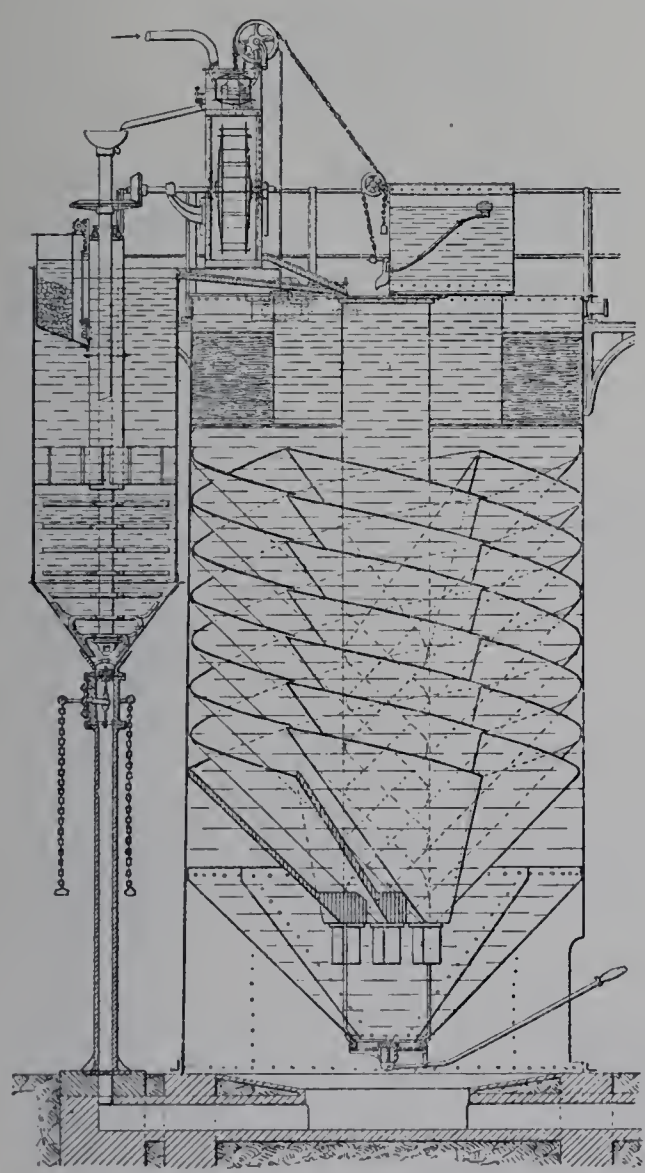


Fig. 176. — Épurateur Desrumeaux.

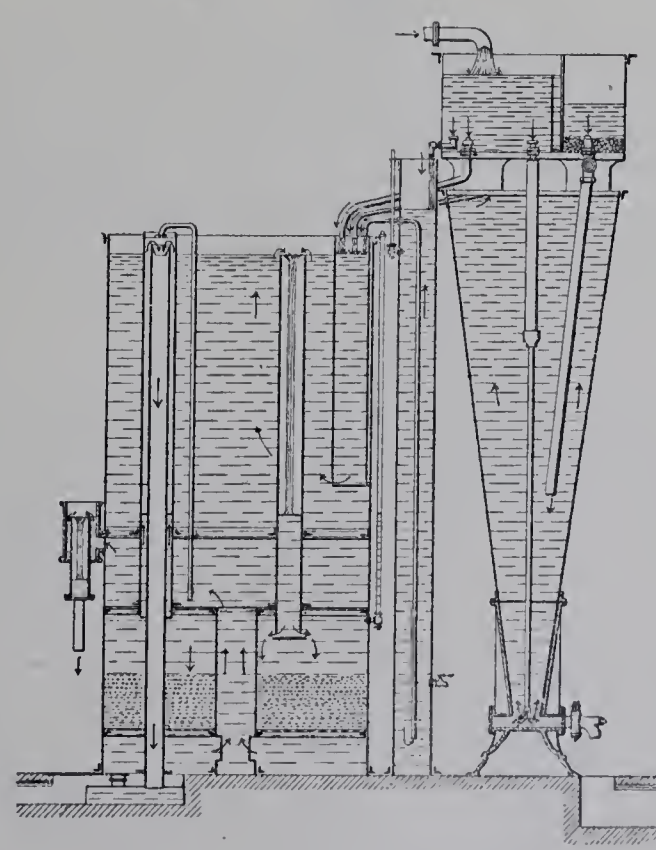


Fig. 177. — Épurateur Dervaux.

Divers constructeurs se sont fait une spécialité de fournir des appareils relativement peu encombrants, où ces opérations se trouvent réalisées plus ou moins automatiquement, sans exiger de soins incompatibles avec la pratique industrielle. Citons, parmi les principaux exposants de ces *épurateurs*, la Société anonyme de La Madeleine, près Lille (système Paul Gaillet) [fig. 175], la Société anonyme l'Épuration des Eaux (système Henri Desrumeaux), de Paris (fig. 176), M. Alfred Dervaux, de Bruxelles (fig. 177), MM. Howatson, M. Alcide Bureau, de Paris, etc.

Les appareils destinés à une petite production n'ont généralement pas de dispositif automatique pour la préparation de l'eau de chaux : la quantité de ce réactif nécessaire

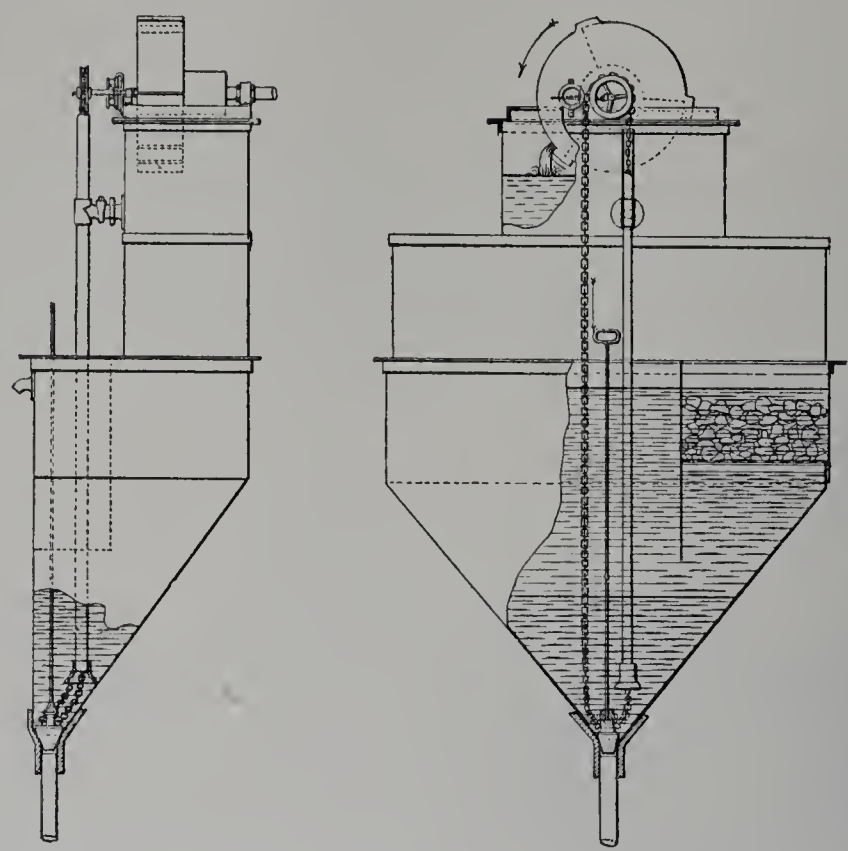


Fig. 178. — Saturateur d'eau de chaux, avec chaîne mue par un compteur d'eau à tambour. (Société de La Madeleine.)

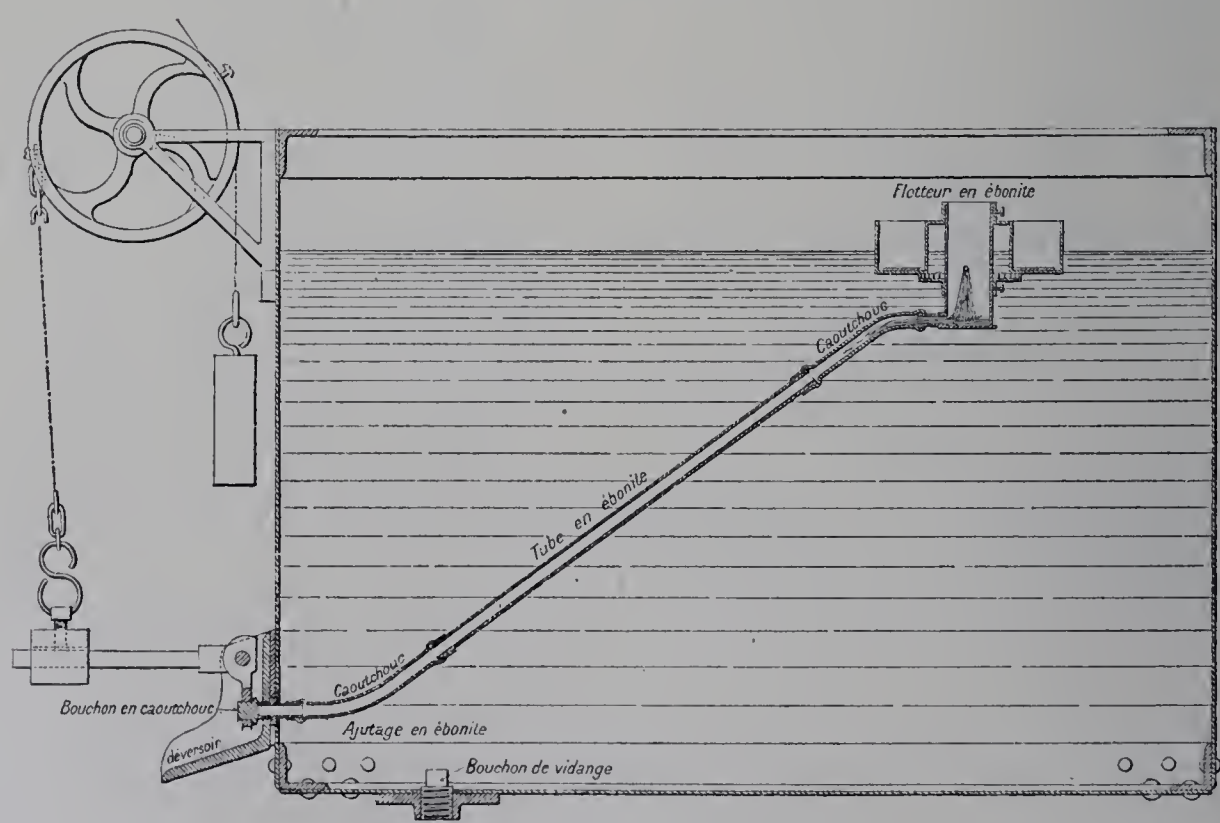


Fig. 179. — Bac de réactif à écoulement sous charge constante. (Société l'«Epuration des Eaux».)

à la consommation de chaque journée est préparée d'avance, par brassage à la main, dans un bac où on laisse ensuite la liqueur se clarifier par le repos. Dans les grands appareils, au contraire, la solution calcique se trouve préparée automatiquement au fur

et à mesure du besoin. L'eau destinée à la former est amenée au bas d'un récipient conique ou tronconique, où elle traverse un lait ou une bouillie de chaux éteinte, puis le liquide saturé se clarifie en s'élevant lentement dans le récipient, au sommet duquel il est repris. Tantôt, comme dans le système Dervaux, le saturateur ne comporte aucun organe de brassage mécanique, tantôt la chaux est maintenue en suspension par un agitateur à palettes, comme dans les appareils Desrumeaux. Le saturateur de la Société de La Madeleine (fig. 178) a pour organe mobile une chaîne sans fin, mue par un compteur d'eau à tambour, du système Siemens, disposé au-dessus de l'appareil: le brin ascendant de cette chaîne parcourt le tube plongeur par lequel descend l'eau à saturer et son mouvement assure la formation du lait de chaux tout en empêchant le tube de s'obstruer.

Quant à la proportion de chacune des solutions de réactif par rapport à l'eau à épurer, on lui assure une valeur constante en faisant écouler simultanément ces divers liquides, eau et solutions, par des ajutages jaugés et sous charge invariable. La fig. 179 montre, à titre d'exemple, les dispositions d'un bac à réactif de la Société l'Épuration des Eaux.

Le débit total du mélange est donc invariable aussi; mais l'ensemble des écoulements est interrompu et repris, automatiquement, de manière à toujours maintenir à peu près plein le réservoir où s'opère la décantation finale. Dans ce réservoir décanteur, des cloisonnements plus ou moins ingénieux sont disposés pour aider à la séparation du précipité pulvérulent. Enfin l'eau traverse un filtre, ordinairement formé de fibre de bois.

Filtres. — A côté de ces épurateurs, dans lesquels la filtration n'est que le dernier stade du traitement chimique, on voit dans la Classe 19 quelques systèmes de filtres, applicables en divers cas à la clarification des eaux d'alimentation des générateurs.

Citons, par exemple, l'appareil de M. Alfred Philippe, de Paris, où la filtration s'opère au travers de tissus disposés en forme de sacs plats; le liquide passe de l'extérieur à l'intérieur de chaque sac, de manière à retenir les particules solides sur la surface extérieure des sacs comme sur les bougies d'un filtre Pasteur. L'enlèvement de ces sacs et leur nettoyage est facile; leur juxtaposition permet de réunir dans un appareil de dimensions restreintes une surface de filtration étendue.

§ 3. Appareils divers.

Compteurs d'eau d'alimentation. — Il faut pouvoir mesurer la quantité d'eau employée à l'alimentation des chaudières. Dans les essais de vaporisation, on s'astreint à prendre l'eau dans des bacs offrant des dimensions faciles à mesurer et dont on assure alternativement l'emplissage et le vidage. Pour les évaluations

IMPRIMERIE NATIONALE.

courantes de la pratique, on se contente de faire passer l'eau au travers d'un compteur.

Plusieurs maisons de construction de Paris exposent dans notre Classe des compteurs d'eau dont les dispositions sont ingénieuses, les organes robustes, et qui rendent à l'industrie des services appréciés.

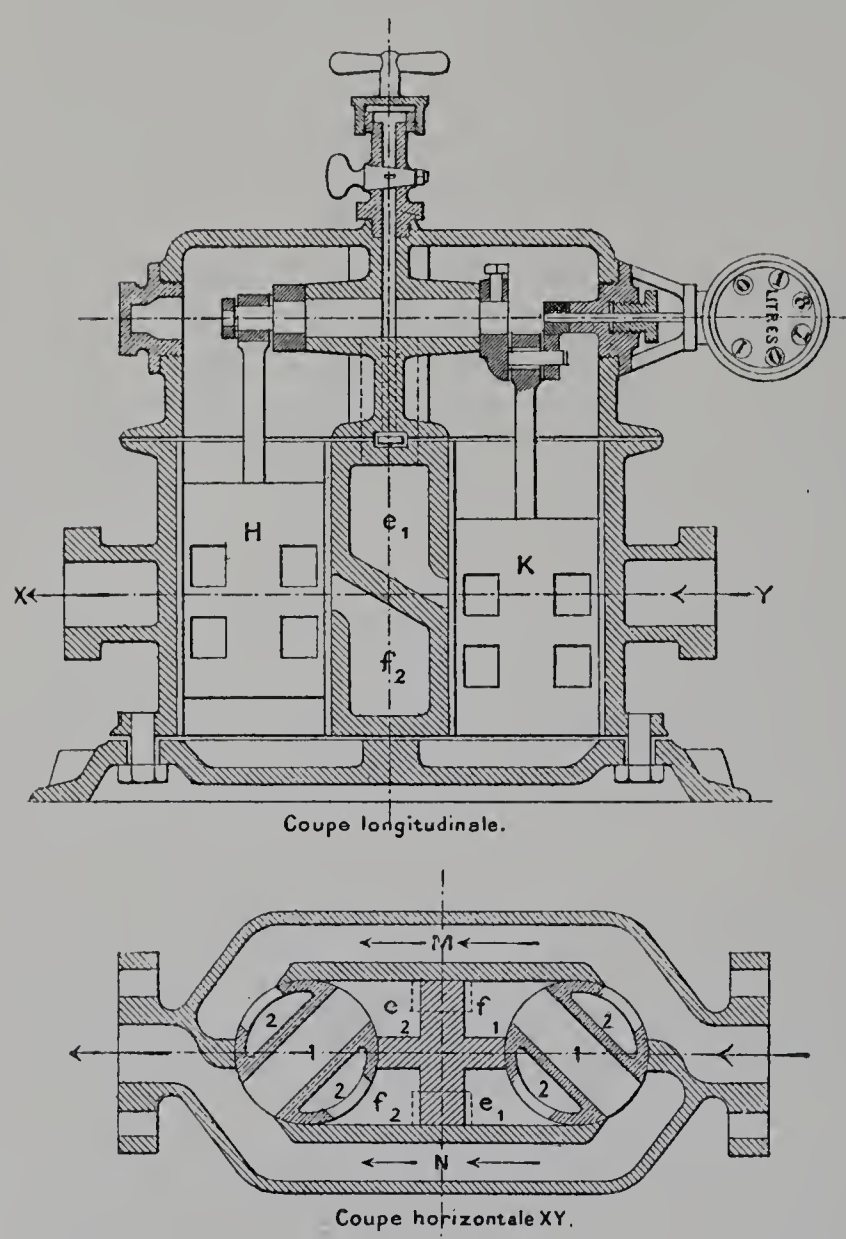


Fig. 180. — Compteur d'eau A. Schmid. (MM. d'Espine, Achard et Cie.)

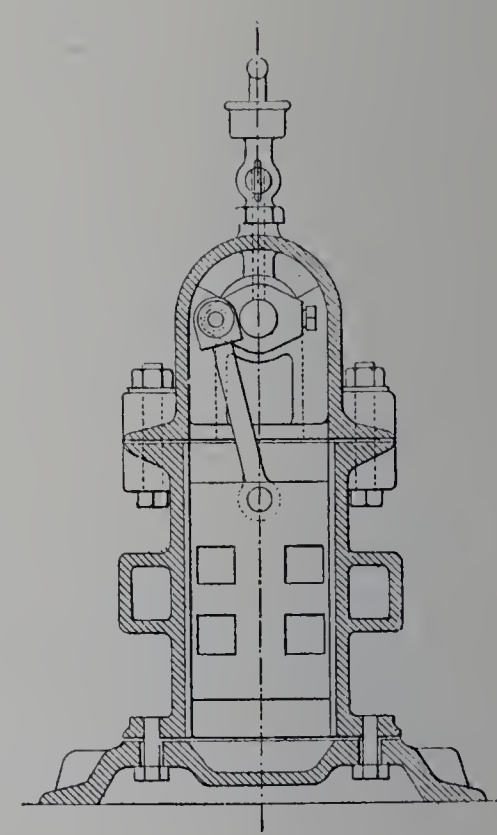


Fig. 181. — Coupe transversale d'un cylindre du compteur A. Schmid.

MM. d'Espine, Achard et Cie sont constructeurs du compteur créé par M. A. Schmid, de Zurich. C'est un moteur hydraulique à deux pistons parallèles H et K, actionnant par manivelles à 90 degrés un arbre tournant sur lequel est fixé un compteur de tours (fig. 180 à 182).

Chaque piston sert de tiroir distributeur à l'autre : il est percé à cet effet de deux couples de lumières; les deux supérieures 1 et 2 sont croisées, les deux inférieures 3 et 4 sont parallèles.

L'arrivée d'eau se fait par le canal M (visible sur la coupe horizontale) et alternativement par 2 et 3 de chaque piston; le départ a lieu alternativement par 1 et 4 et se

poursuit par le canal N. Entre les deux cylindres existent quatre communications e_1, f_1, e_2, f_2; e_1, f_1 partent du milieu du cylindre K, dans deux azimuts différents, et aboutissent respectivement au sommet et au bas du cylindre H; de même, e_2 et f_2 partent du milieu de H et aboutissent au sommet et à la base de K.

Si nous considérons le fonctionnement du piston H avec K pour tiroir, nous voyons que l'eau arrive tantôt au-dessus de H par 2 de K et e_1, tantôt au-dessous par 3 et f_1; elle s'en va tantôt de la partie inférieure du cylindre H par f_1 et 1 du piston K, tantôt de la partie supérieure par e_1 et 4.

Vingt-trois compteurs de ce système ont été établis pour mesurer la consommation d'eau des usines La Bourdonnais et Suffren.

Les compteurs d'eau de MM. Samain et Cie sont également à deux pistons jaugeurs, ces pistons se meuvent horizontalement et chacun actionne la distribution de l'autre (fig. 183 et 184).

L'appareil est divisé par une cloison F en deux cylindres égaux, où se meuvent respectivement les pistons P et P'. L'eau, arrivant par E dans la boîte B où elle traverse la grille G, est introduite alternativement sur les deux faces du piston P par les lumières 4 et 5, tandis que l'échappement se fait par 2 et le canal S : à cet effet, le tiroir de distribution D de gauche est actionné par le levier O et la tige T' que le piston P' déplace, lorsqu'il arrive à fond de course, en agissant sur les embases H et C de T'. On voit de même que le piston P, en déplaçant la tige T et le levier V, fait mouvoir le tiroir de distribution du cylindre de droite.

Citons encore les compteurs « Étoile », à piston-disque roulant sur une table conique, exposés par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz.

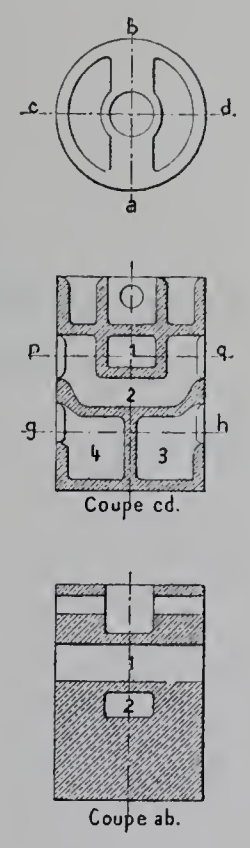


Fig. 182. — Détails d'un piston du compteur A. Schmid.

Outils de nettoyage. — Les dépôts une fois formés dans les chaudières, c'est l'œuvre du nettoyage intérieur de les enlever. L'outillage spécial de ce genre d'opération comprend, avec le marteau à piquer, des râclettes, des brosses métalliques, pour les surfaces où la main de l'ouvrier peut accéder; des grattoirs extensibles, des écouvillons, etc., pour l'intérieur des tubes et d'une manière générale pour les parties qu'il faut nettoyer à distance.

Ces instruments modestes rendent, en général, des services d'autant plus sûrs et durables qu'ils sont plus simples et plus robustes.

Mme veuve Alexandre Beffa, M. Louis Astorgis, M. Ernest Prunier, de Paris, en ont exposé des spécimens intéressants.

Certains inventeurs recourent à des dispositions plus compliquées; c'est ainsi que la Sherwood manufacturing Co, de Buffalo et New-York, propose un appareil à nettoyer

les tubes qui comporte un outil tournant à ailettes extensibles, monté sur billes et mû par une petite turbine à eau; il faut, pour mettre en jeu l'instrument, y envoyer de

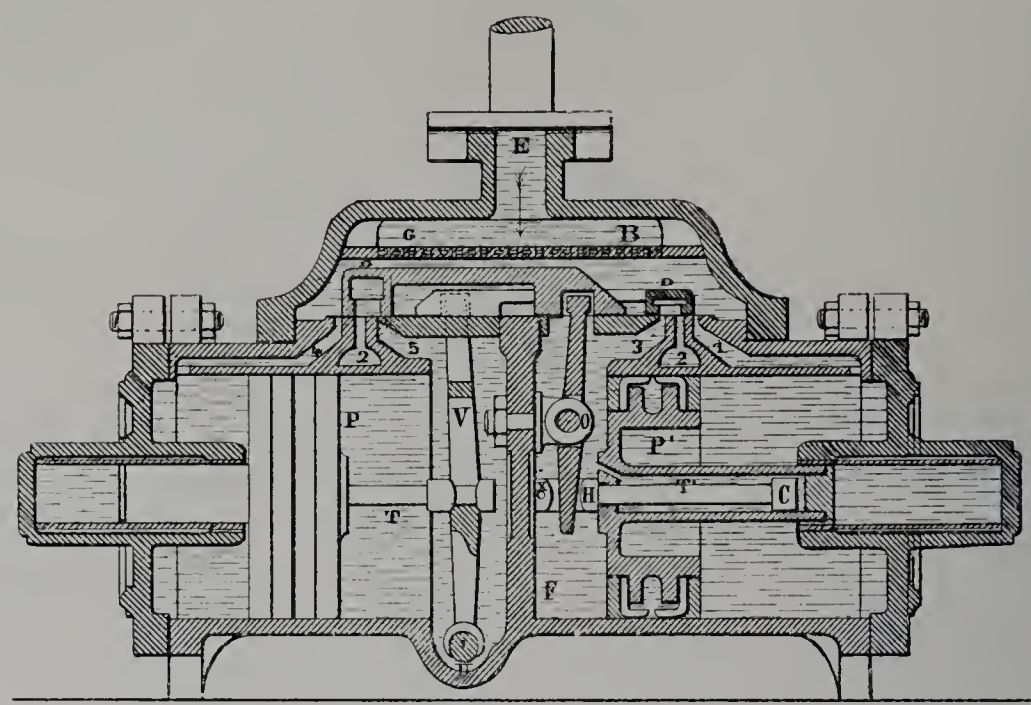


Fig. 183. — Compteur d'eau Samain.

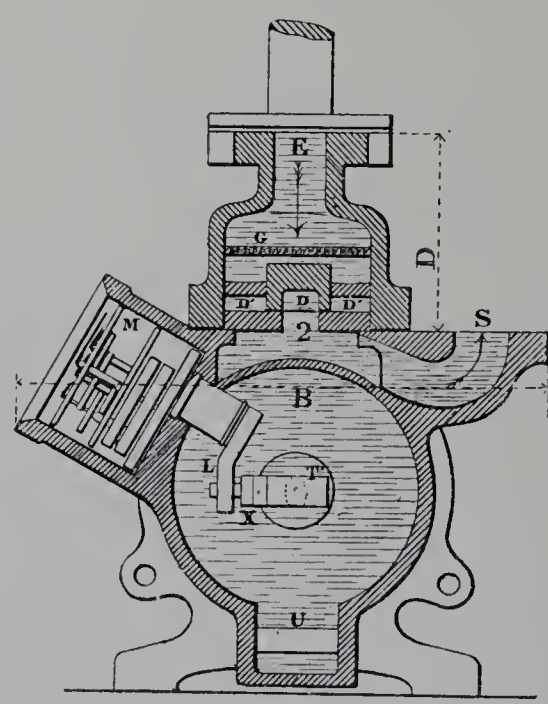


Fig. 184. — Coupe transversale du compteur Samain.

l'eau sous pression et cette eau, en s'échappant de la turbine, se répand dans le tube pour le laver.

X

FOYERS, GRILLES ET CHEMINÉES.

§ 1. Grilles diverses et foyers spéciaux à houille.

Combustion sur grille. — Pour assurer, dans la mesure pratiquement réalisable, un bon rendement à un générateur de vapeur, il faut commencer par brûler le combustible de manière à dégager, aussi complètement que possible, la chaleur correspondant à son oxydation; il faut ensuite utiliser de cette chaleur la plus grande quantité possible, en réduisant au minimum la fraction emportée par les gaz de la combustion et celle dissipée par le rayonnement et la conductibilité extérieure de l'appareil.

Dans la très grande majorité des cas, le combustible est la houille et cette houille est brûlée sur une grille ordinaire, où il appartient au chauffeur d'en régler la combustion de manière à la rendre régulière et complète. La conduite du feu diffère suivant l'état et la qualité du combustible, tout-venant ou menu, contenant plus ou moins de matières volatiles, ayant plus ou moins de tendance à s'agglomérer ou à s'effriter, différant par la proportion et par la nature des cendres. Savoir entretenir tel ou tel régime, activer les feux ou les ralentir, décrasser à temps et sans trop de perte de chaleur, c'est un art pratique, dont l'outillage est simple et auquel il faut surtout les soins d'un ouvrier expérimenté et diligent. L'écartement des barreaux de grille et le rapport du vide au plein doivent naturellement être appropriés à la nature du combustible. Il est intéressant aussi que les grilles soient établies de manière à ne se corroder que le plus lentement possible, pourvu toutefois que la qualité de métal et les formes de barreaux, auxquelles on aura recours pour les rendre rebelles à l'usure, n'en majorent pas le prix plus qu'elles n'en allongent la durée.

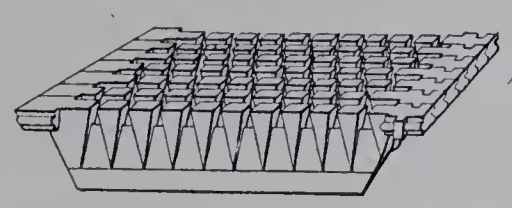


Fig. 185. — Grille à pyramides de M. J. Wagner.

Plusieurs exposants, tels que M. François Crèceveur, de Mantes (Seine-et-Oise), M. Jean Wagner, de Paris, présentent des grilles formées d'une fonte dure et résistant à l'action de températures élevées. Ils donnent aux barreaux des dispositions variées, notamment pour accroître la surface de rafraîchissement du métal par l'air, ou pour faire affluer celui-ci en lames minces et multiples, ce qui convient à l'emploi des combustibles menus, à la condition que la scorie et les escarbilles ne bouchent pas les interstices. La fig. 185 montre, comme exemple de ces dispositions, la grille à pyra-

mides de M. J. Wagner. Les fig. 186 à 188 donnent les dispositions de la grille «Terminus», établie par M. A. Montupet pour l'utilisation des houilles anthraciteuses dures, des houilles maigres friables, etc.

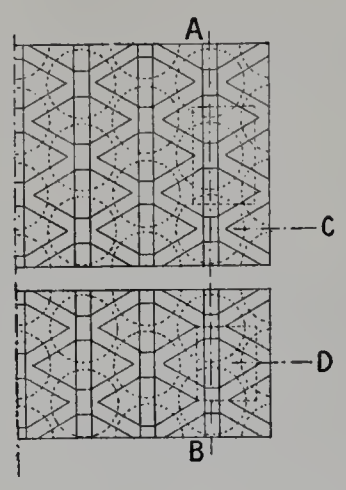


Fig. 186. — Grille terminus. (M. A. Montupet.)

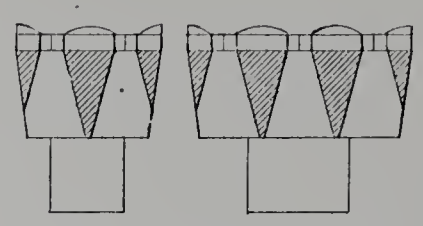


Fig. 187. — Coupe par AB de la fig. 186.

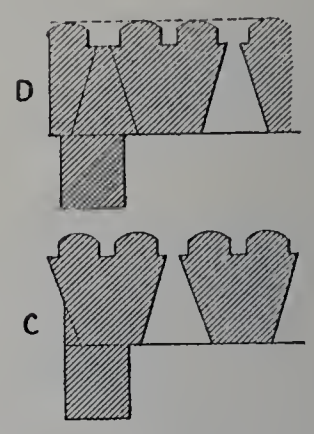


Fig. 188. — Coupes par C et D de la fig. 186.

Foyers spéciaux. — Le foyer ordinaire à grille permet d'utiliser presque toutes les espèces de charbon et d'en assurer la combustion pratiquement complète : il n'a pas son pareil pour la souplesse de l'allure; il laisse la possibilité de jeter le feu bas rapidement. On remarque cependant à l'Exposition quelques dispositions spéciales de foyers à houille, destinées soit à permettre l'utilisation des combustibles menus et de qualité inférieure, soit à simplifier le travail du chauffeur, soit à prévenir la production de fumée noire.

Utilisation des menus pauvres. — Pour l'utilisation des combustibles menus et de qualité inférieure, tels que les escarbilles, les poussières de houille maigre et de coke, il faut, en employant des grilles à très petites ouvertures, assurer un afflux d'air suffisamment abondant et qui se mêle intimement au combustible : on est conduit à procéder par insufflation. Le foyer Kudlicz (fig. 189 à 192), présenté dans la section autrichienne par M. J. Kudlicz, de Prague-Bubna, et dans la section française par M. Charles Donders, fondeur à Nancy, est établi d'après ce système. Les barreaux sont remplacés par des plaques en fonte percées d'un grand nombre de trous coniques, évasés vers le bas et ne présentant sur la surface supérieure de la plaque que des orifices de petit diamètre. Sous ces plaques perforées sont disposés des coffrages, de manière que chaque plaque forme la paroi supérieure d'une caisse dans laquelle arrive le vent. Celui-ci est ordinairement produit par des jets de vapeur, agissant dans des injecteurs d'air placés à l'entrée de chaque caisse, mode d'insufflation coûteux par lui-même, mais simple, pratique et acceptable pour un système qui permet d'employer des combustibles à très bas prix.

MM. Jules Chagot et Cie, de Monceau-les-Mines, exposent le foyer Meldrum (fig. 193 et 194), dont ils sont concessionnaires pour la France. Le principe est le même : on a ici une grille proprement dite, mais de construction spéciale, dont les barreaux à

section triangulaire ne laissent entre eux, à la partie supérieure, que des interstices de 3 millimètres. Le cendrier est clos et une pression de vent y est produite par un injecteur d'air à jet de vapeur.

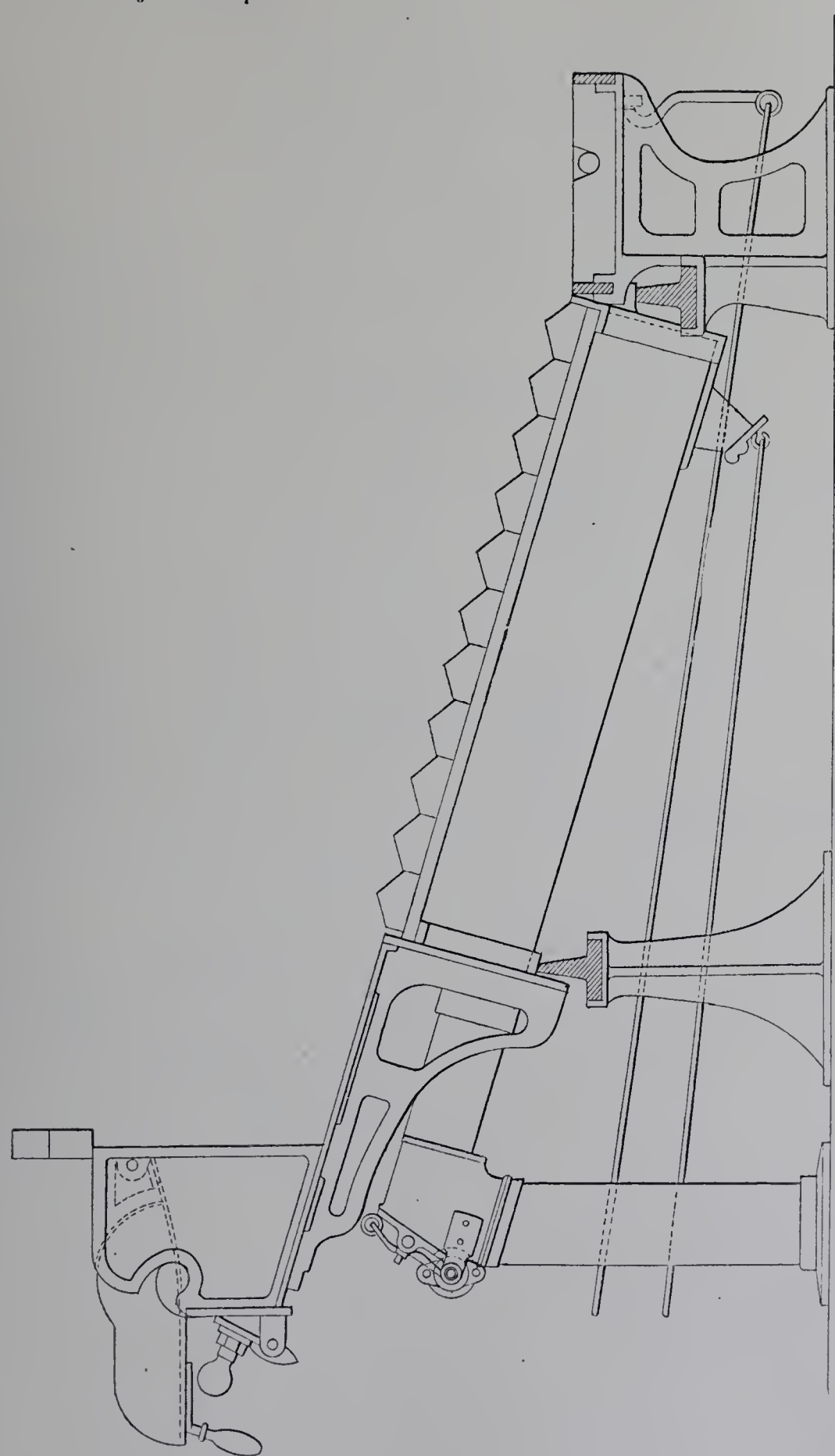


Fig. 189. — Foyer Kudlicz. Élévation longitudinale.

M. Édouard Poillon, d'Amiens, a imaginé pour les foyers de ce genre une grille dite à lames de persiennes : c'est une grille en fonte dont les parties pleines laissent entre

C. F. E.

elles des fentes inclinées et diversement orientées, dans le double but d'assurer le brassage des gaz et d'éviter les jets de flamme directs sur les surfaces de chauffe (fig. 195).

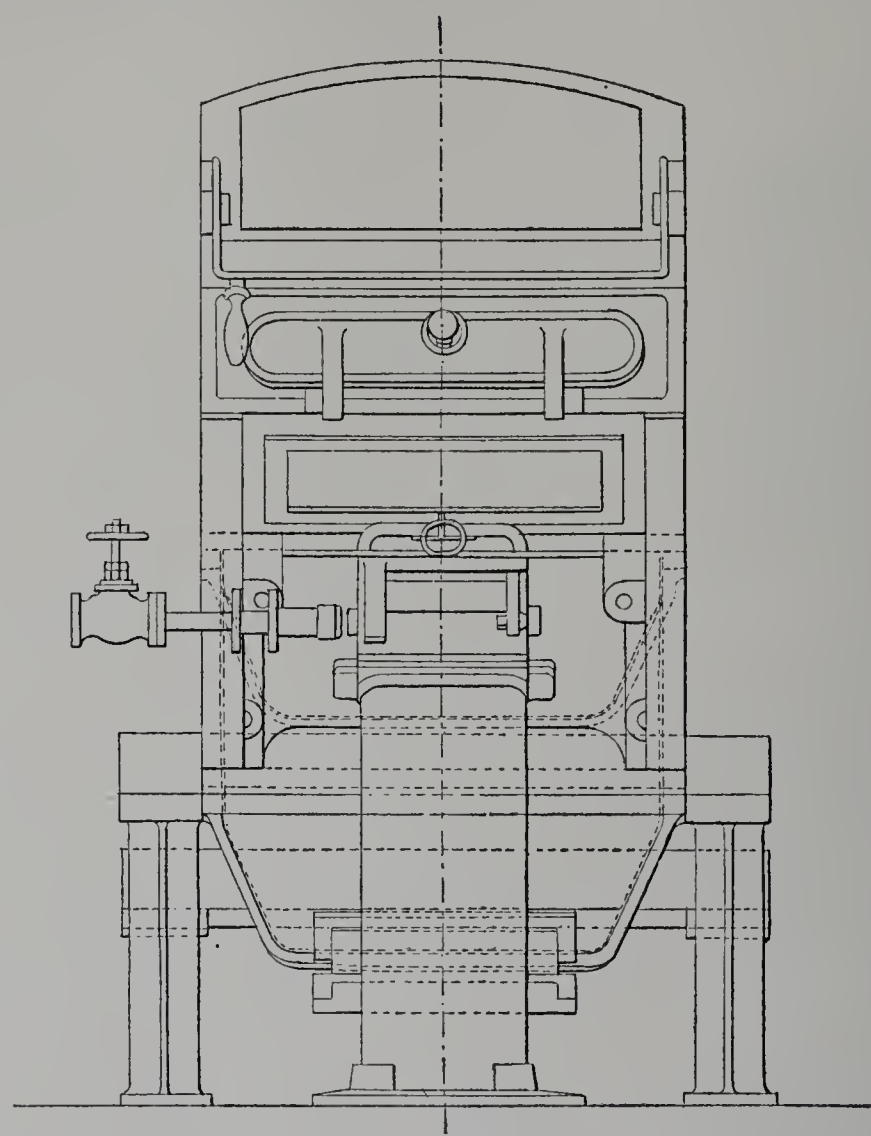


Fig. 190. — Foyer Kudlicz. Façade.

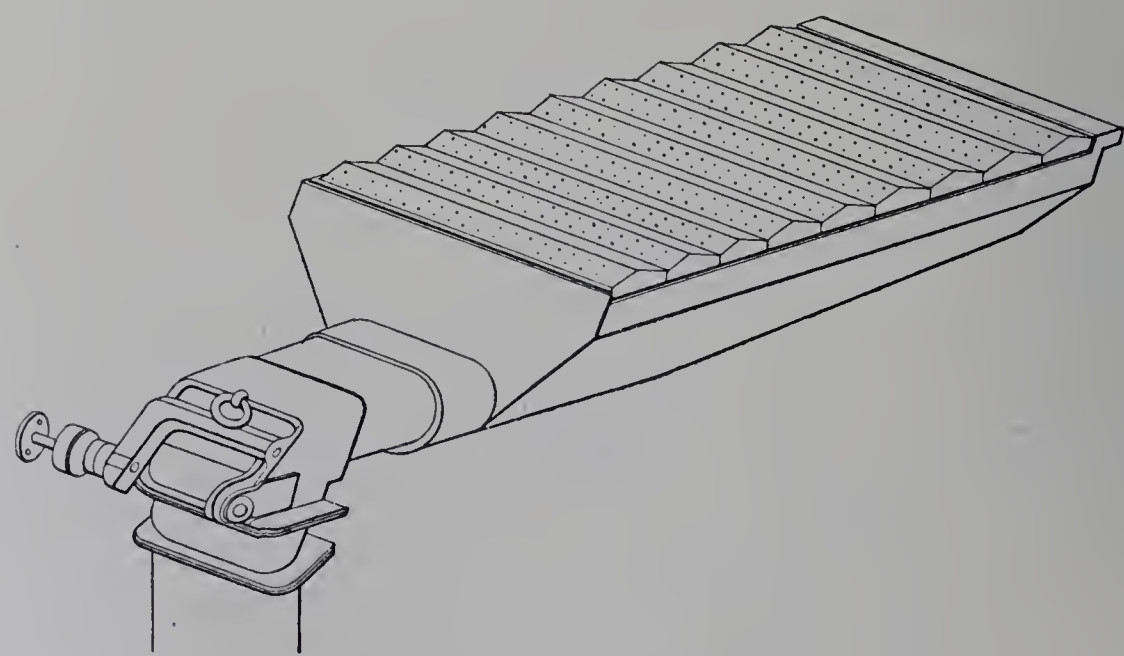


Fig. 191. — Vue de la caisse soufflée.

A leur débouché supérieur, ces fentes sont assez étroites pour ne représenter que 16 p. 100 de la surface de grille, de manière que l'air, soufflé par un jet de vapeur

en cendrier clos, se trouve vivement lancé au travers du combustible pauvre, sous forme de nappes très minces. Une partie des générateurs Babcock et Wilcox de l'Exposition sont munis de foyers de ce système.

Fig. 192. — Coupe de l'une des plaques perforées supportant le combustible.

Foyers à chargement automatique. — Il serait d'un sérieux intérêt, surtout pour les grands établissements, de disposer d'un système de foyer à chargement automatique qui épargnerait le travail de chauffe. Bien des tentatives ont été faites dans cette voie; la plupart n'ont pas eu jusqu'à présent de succès durable, en France tout au moins. Cependant, en Angleterre et aux États-Unis, les *mechanical stokers* sont fort répandus. On conçoit que s'il s'agit d'une puissante batterie de chaudières approvisionnées toujours d'une même sorte de charbon et ayant à fournir un service uniforme, dans un pays où la main-d'œuvre est chère et la houille à bon marché, l'emploi d'appareils de cette classe soit particulièrement indiqué. En France, la plupart des usiniers sont dans le cas d'avoir à changer de temps à autre la nature de leur approvisionnement de charbon; souvent il est nécessaire que les générateurs présentent une grande souplesse d'allure tout en conservant un bon rendement; parfois aussi l'établissement n'en possède pas un nombre suffisant pour qu'on risque volontiers d'ajouter, pour chacun d'eux, aux autres causes d'indisponibilité, les réparations d'un mécanisme; enfin l'économie sur la main-d'œuvre ne serait pas toujours assez prépondérante par rapport aux divers frais du système. Néanmoins un mouvement d'idées se dessine en faveur de ces appareils.

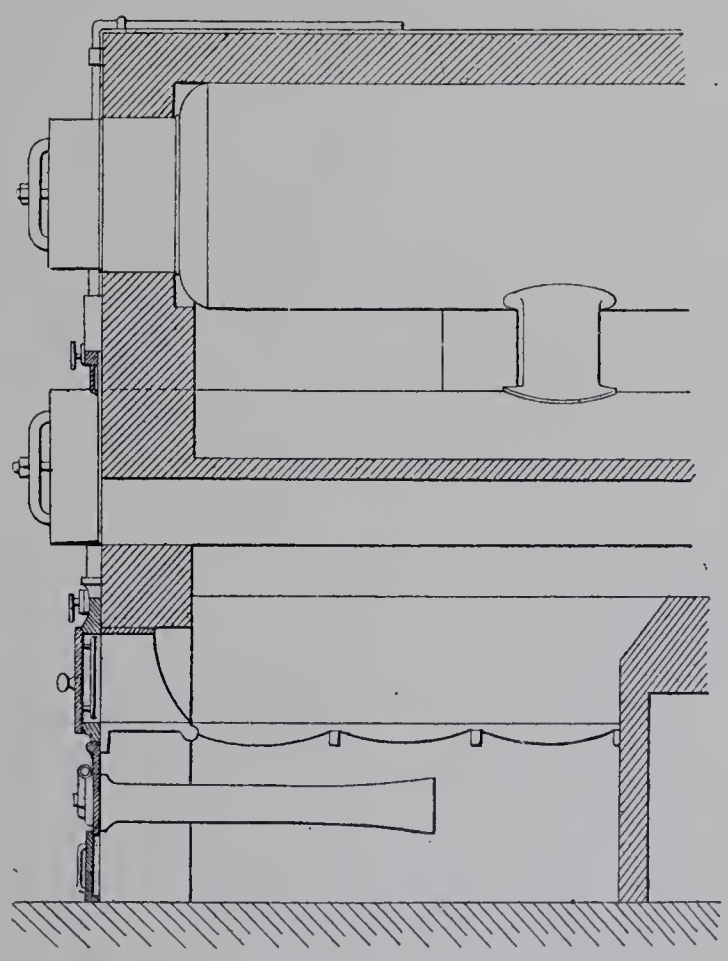


Fig. 193. — Foyer Meldrum.

Un système de chargement automatique comporte d'abord, à l'entrée du foyer, une trémie dans laquelle est entretenue une provision de combustible. Dans les grands établissements, l'approvisionnement des trémies peut être effectué mécaniquement au moyen de couloirs de descente alimentés par des transporteurs : les installations de ce genre fonctionnent bien et sont d'une exploitation économique. Mais le difficile est

d'assurer, à partir de chaque trémie, le départ progressif du charbon, sa répartition sur la grille et l'élimination des cendres et machefers, le tout sans avoir ni grille partiellement découverte, ni combustion incomplète, et sans que les mécanismes employés prêtent aux avaries.

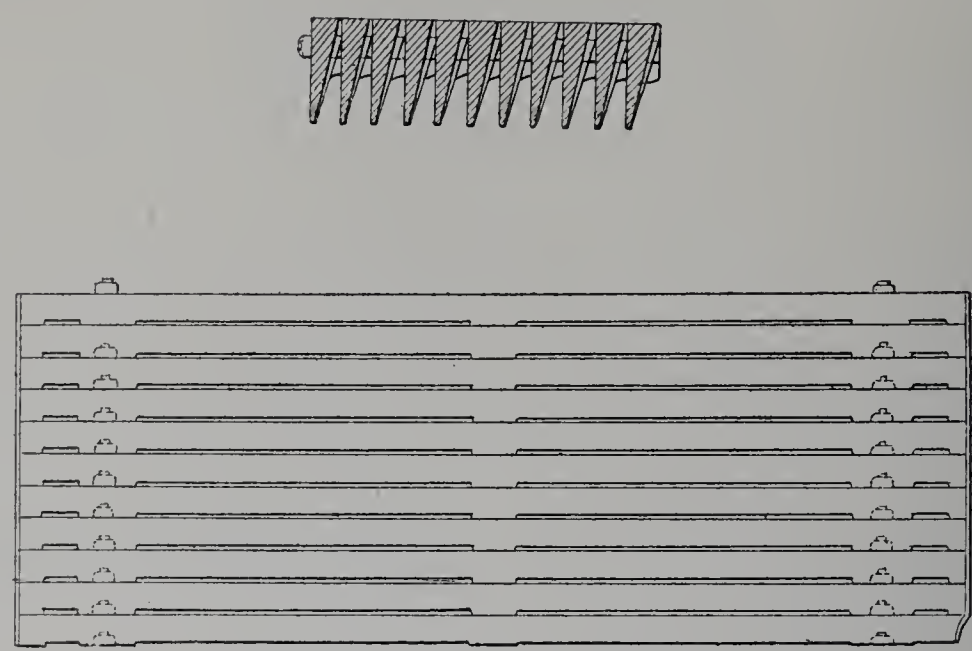


Fig. 194. — Grille pour foyer Meldrum.

M. James Proctor, de Burnley (Lancashire), est un spécialiste en la matière. Les générateurs à foyers intérieurs, classiques en Angleterre, ne sauraient recevoir que

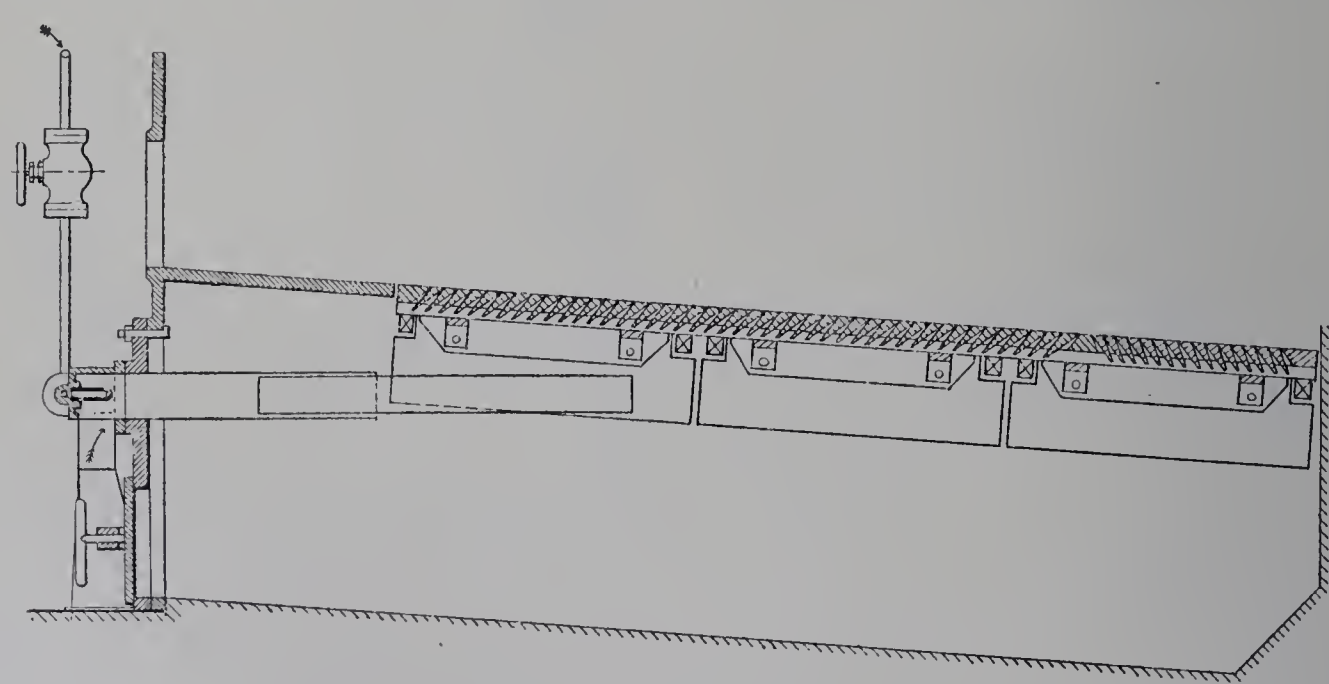


Fig. 195. — Grille Poillon.

des grilles horizontales. Les foyers Proctor, dont les fig. 196 et 197 font comprendre le principe, sont à grille horizontale ou peu inclinée. Au bas de la trémie se trouve disposé un chargeur à palettes horizontales. Il y aura, par exemple, deux palettes juxtaposées. Chacune d'elles est animée d'un mouvement de va-et-vient dans son plan : son

fonctionnement est comparable à celui d'une pelle que l'on avancerait, chargée de houille, dans l'intérieur du foyer, puis que l'on retirerait en empêchant le charbon de suivre le mouvement de retour. Ce qui s'oppose ici au mouvement de retour du charbon est la présence du combustible descendant de la trémie, qui a remplacé sur la palette, au fur et à mesure que celle-ci s'est avancée dans le foyer, le charbon qu'elle a emporté avec elle.

Pourvu que l'espèce du combustible se prête à ce mode de distribution, le jeu alternatif des palettes verse donc incessamment de petites charges sur la partie de la grille la plus rapprochée. Il faut maintenant assurer le cheminement du combustible, éliminer la cendre et produire automatiquement le décrassage. A cet effet, les barreaux sont répartis par pairs et impairs en deux jeux dont l'un est fixe, tandis que, pour l'autre, l'extrémité antérieure des barreaux reçoit d'un système de leviers un mouvement oscillant; l'axe d'oscillation est placé de telle manière que, lorsque le barreau se soulève, il se trouve en même temps poussé longitudinalement dans le sens où doit cheminer le charbon.

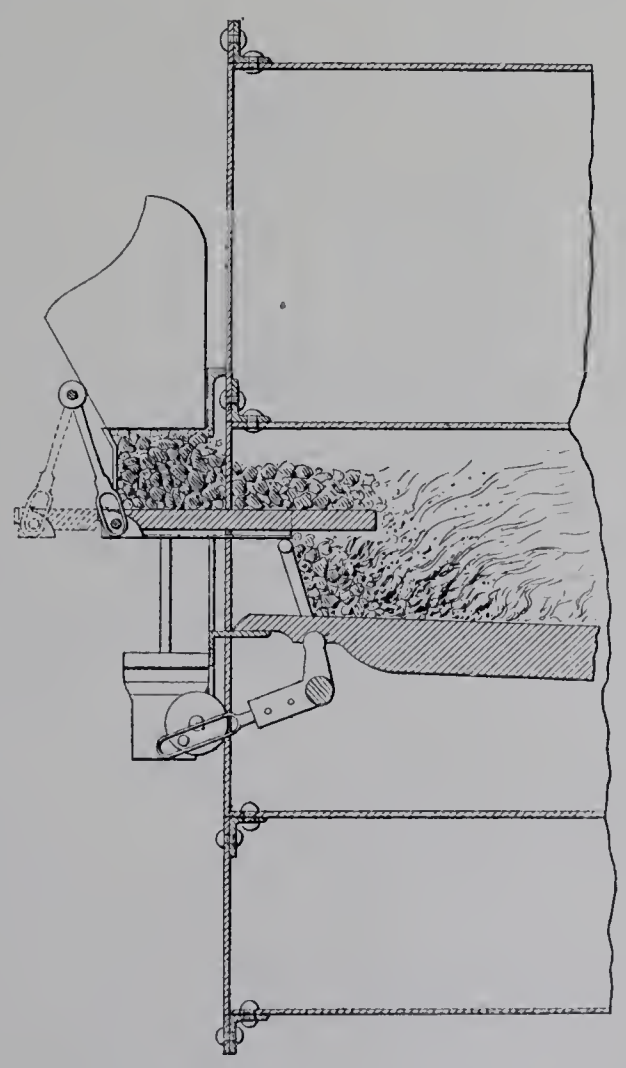


Fig. 196. — Chargeur Proctor.

La combinaison de cette oscillation oblique d'un barreau sur deux, avec l'arrivée continuelle de combustible frais en tête de la grille, détermine le mouvement de progression; la vitesse du mécanisme, qui peut être réglée à volonté, doit être telle qu'à la fin de son trajet le charbon soit brûlé sans cependant que la grille soit découverte. Il n'y a pas d'autel et le résidu de la combustion se déverse, au bout de la grille, dans une fosse où, jusqu'à un certain point, un reste de combustion s'effectue.

Le système, sous cette forme, est simple et sa commande robuste. Les palettes, dans la partie qui pénètre à l'intérieur du foyer, sont assez vite rongées par le feu : elles sont construites de manière que cette partie puisse être remplacée.

Dans une autre disposition, qui nécessite une plus grande complication de mécanisme, M. James Proctor a entrepris de réaliser, par le jeu du chargeur mécanique, une véritable répartition du charbon sur la surface de la grille, analogue à celle que produit, par des jets de pelle variés, la main du chauffeur.

A cet effet, chaque palette horizontale à mouvement alternatif verse le charbon, non directement sur la grille, mais dans une poche située en avant du foyer; dans cette poche se meut un diaphragme oscillant autour d'un axe horizontal et formant pelle à

lancement. Quand la palette verse du charbon dans la poche, la pelle s'efface afin que la poche puisse le recevoir; dès que celle-ci est garnie, la pelle exécute, sous l'action d'un ressort, un vif mouvement qui projette le charbon sur la grille. Les cames qui arment le mécanisme à déclic sont disposées de manière que les jets successifs de la pelle soient tantôt plus forts, tantôt plus faibles, de manière que les pelletées se trouvent envoyées plus ou moins loin et que leur succession garnisse la grille sur une suffisante longueur. Il y a d'ailleurs oscillation de la moitié des barreaux comme dans le premier cas.

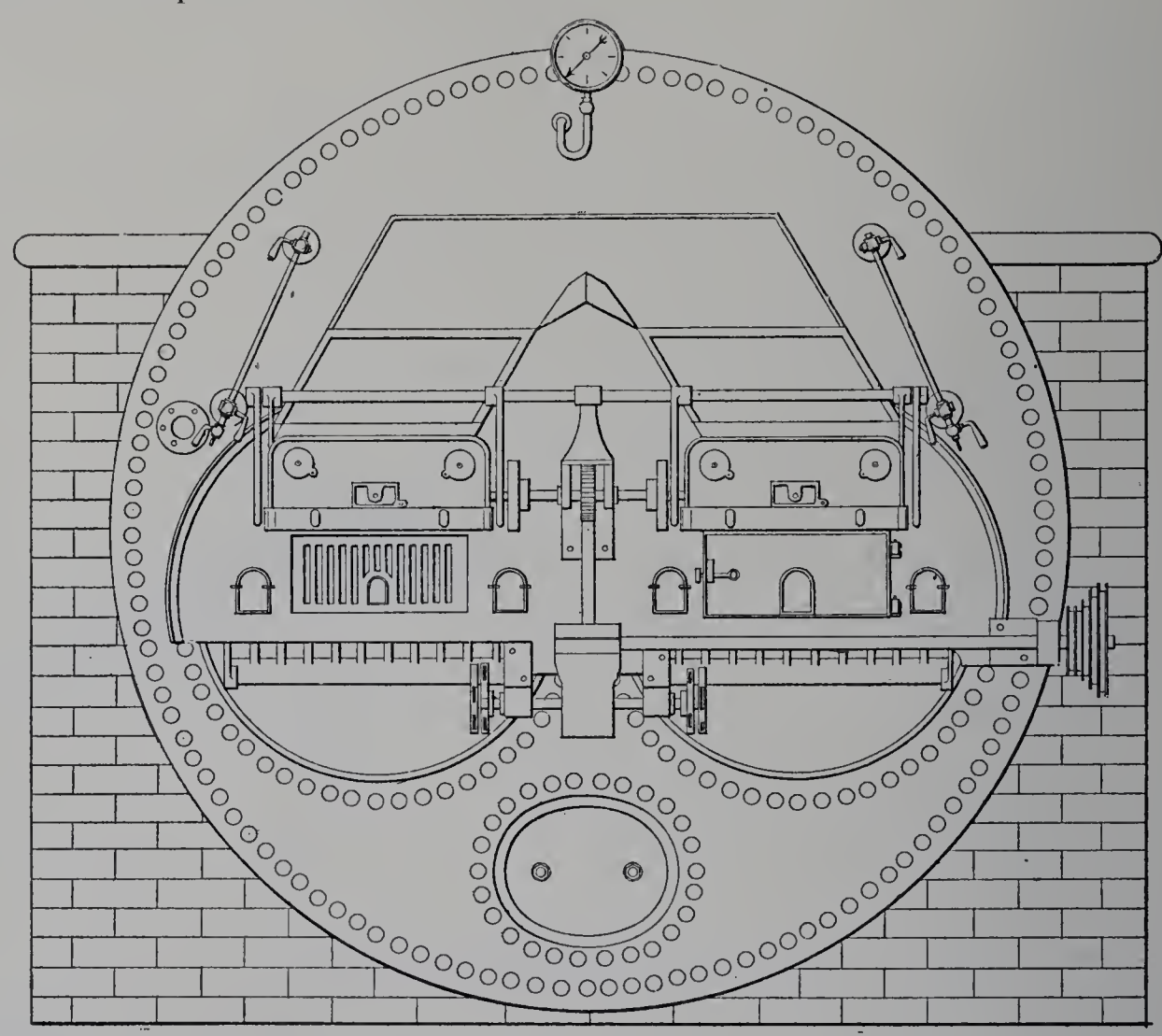


Fig. 197. — Façade d'une chaudière à deux foyers intérieurs munis de chargeurs Proctor.

Dans d'autres systèmes, en inclinant la grille, on fait travailler plus ou moins activement la pesanteur à l'avancement du charbon. Dans le foyer automatique présenté par M. François Crèceveur, on retrouve une grille oscillante, mais en outre assez fortement penchée; le charbon est servi en tête de cette grille par deux trémies. Dans le but de déterminer un écoulement progressif, chacune de celles-ci présente dans sa partie inférieure un panneau oscillant dont le va-et-vient joue le rôle d'un poussoir automatique. A l'extrémité inférieure de la grille, la combustion s'achève sur un jette-feu, que le chauffeur doit basculer de temps à autre pour évacuer la cendre et le machefer.

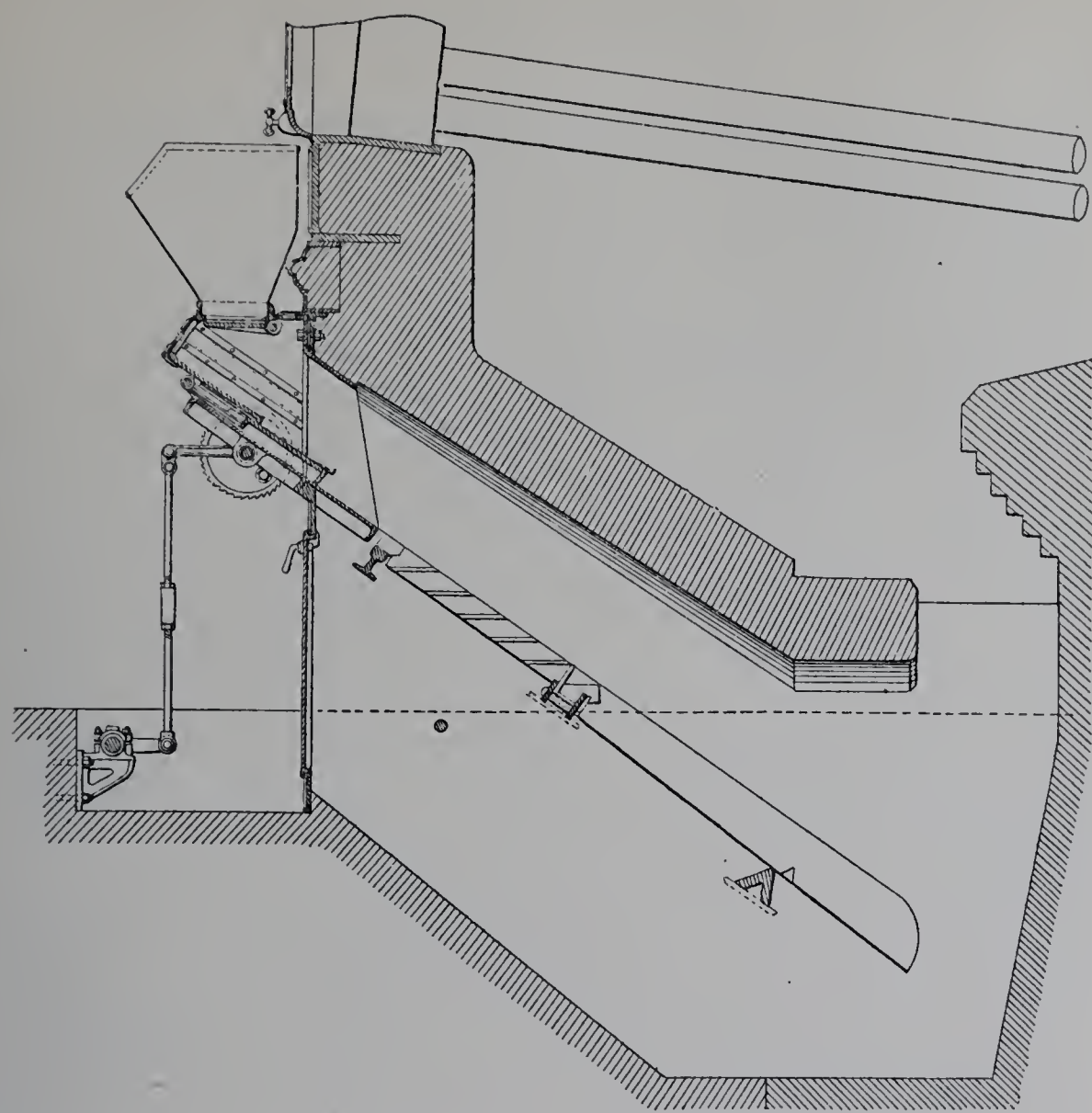


Fig. 198. — Foyer Lomchakov.

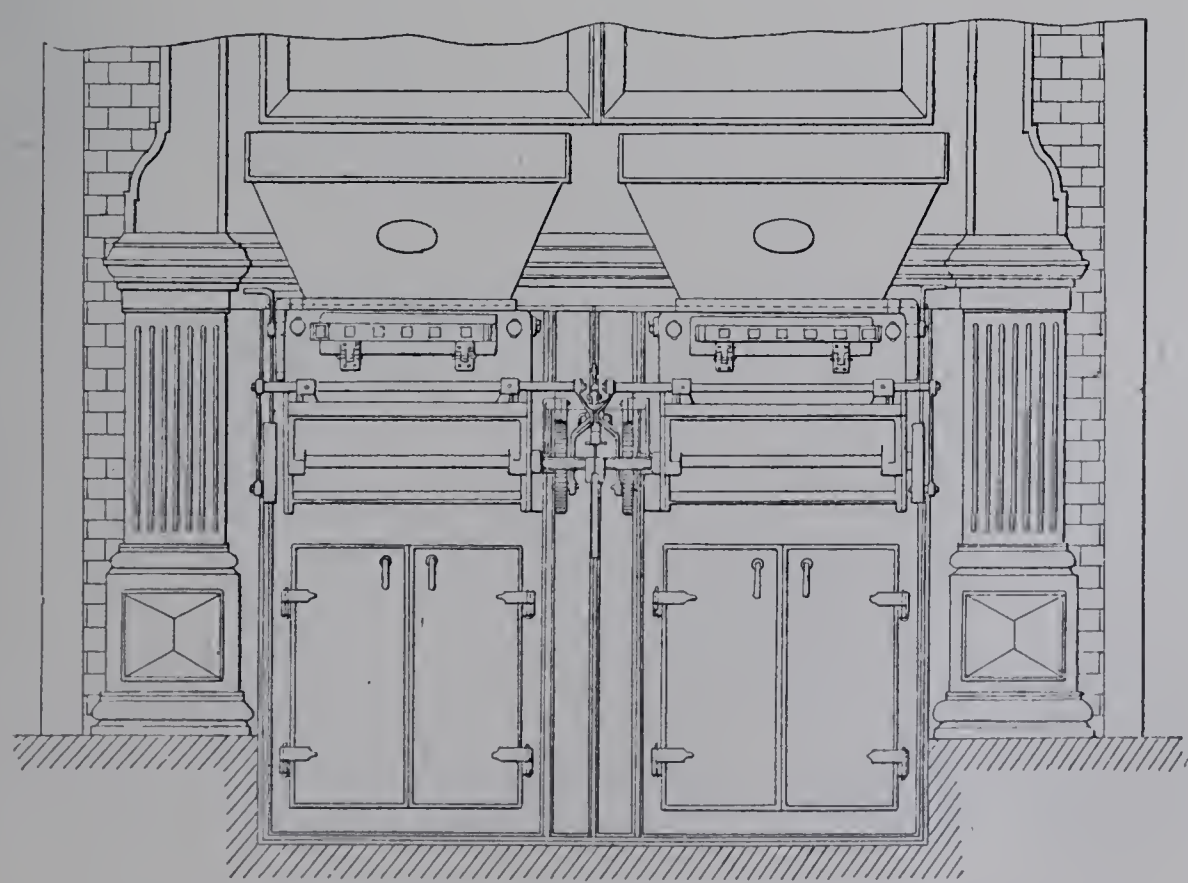


Fig. 199. — Façade d'une chaudière à tubes d'eau avec foyer Lomchakov

M. Alexis Lomchakov, de Saint-Pétersbourg, incline la grille plus franchement encore et la laisse fixe; il en fait une grille à gradins sur une partie de sa longueur, la recouvre d'une voûte et admet de l'air au-dessus de la couche de combustible suivant le principe des foyers gazogènes (fig. 198 et 199). Le charbon, emmagasiné dans deux trémies, est servi en tête de cette grille inclinée, par des palettes à mouvement alternatif. L'introduction d'air au-dessus de la couche de combustible se fait par une allonge placée entre ces palettes et la trémie proprement dite, et constituant un gueulard plat qui permet au besoin de travailler le feu au ringard. Les palettes, voisines de cette entrée d'air, se trouvent à l'écart de l'action vive du foyer. Le système participe à la fois de la grille à gradins, du foyer Ten-Brink et de l'appareil Proctor.

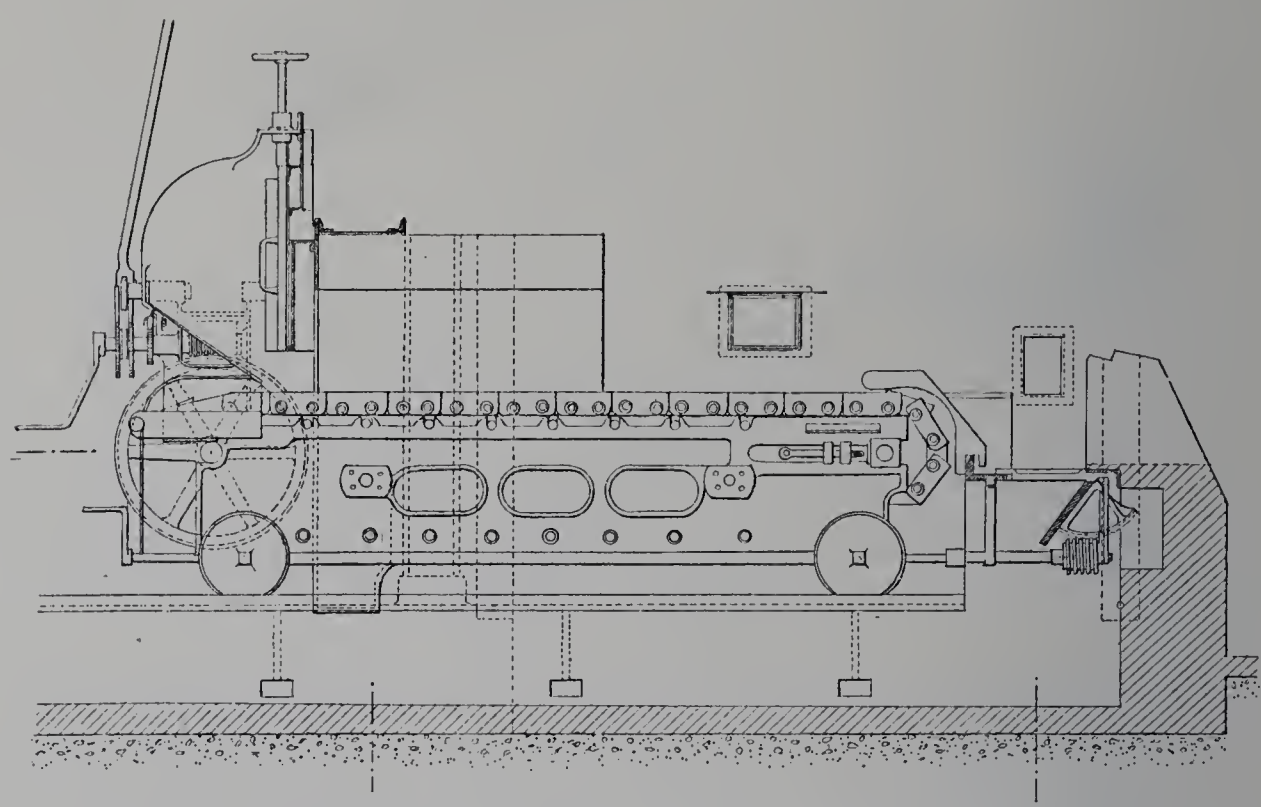


Fig. 200. — Grille à chargement automatique. (Compagnie française. Babcock et Wilcox.)

La Compagnie française Babcock et Wilcox, reprenant l'idée de l'ancienne grille Tailfer, a muni une partie de ses chaudières d'une grille mobile organisée suivant le principe d'un transporteur à toile sans fin (fig. 200 et 201). Cette grille est formée d'une série d'éléments articulés et elle est tendue horizontalement sur deux poulies polygonales. La poulie motrice est commandée par un mécanisme à vitesse réglable; la poulie folle est pourvue d'un système de réglage de la tension. Le tout, pour la facilité des visites et des réparations du système, est porté par un chariot monté sur galets et susceptible d'être tiré en avant du foyer. En tête de ce véritable transporteur, le charbon est versé par une trémie; il brûle pendant son voyage; la légère trépidation de la grille élimine, en cours de route, une certaine quantité de cendres et d'escarbilles qui tombent dans un long cendrier disposé sous le chariot. A l'extrémité du trajet, une sorte de râcloir fixe, formant déversoir, fait tomber ce qui reste dans une fosse par laquelle le cendrier se termine. Il faut établir entre le débit de la trémie, la

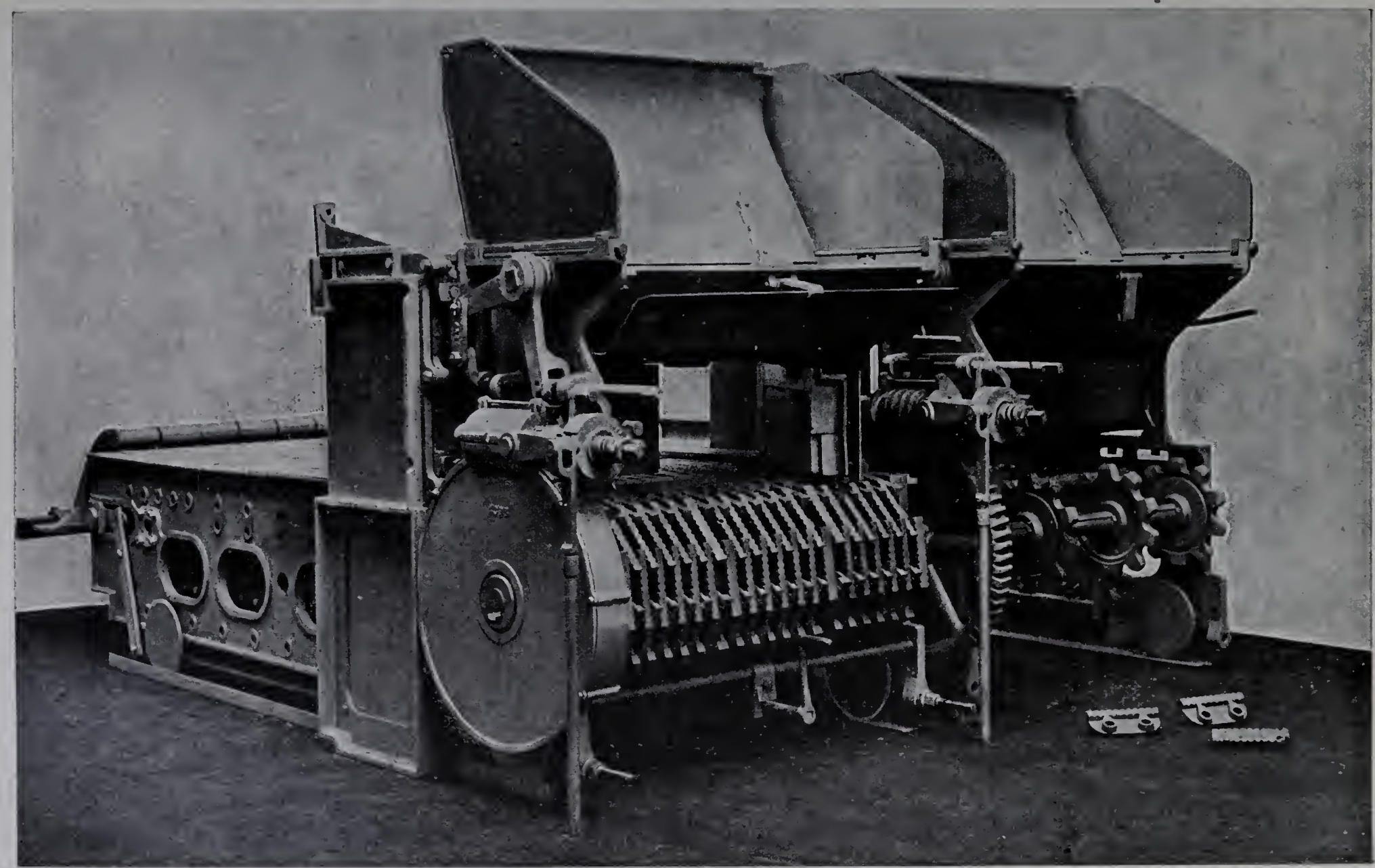


Fig. 201. — Vue de la grille à chargement automatique de la Compagnie Babcock et Wilcox.

vitesse de la grille sans fin et l'activité du tirage, les rapports nécessaires pour que la combustion corresponde juste au temps du parcours, sans que la grille se découvre, ni que la perte par escarbilles s'exagère. Il faut aussi que la nature du combustible n'amène ni trop de perte par tamisage en cours de route, ni trop d'adhérence du mâchefer.

Fumivorité. — Nous avons indiqué, comme troisième but visé par les systèmes spéciaux de foyers à houille, la combustion sans fumée noire. Les appareils que nous venons de passer en revue la réalisent : les foyers soufflés à combustibles pauvres, à cause de la nature même de ces combustibles et du soufflage qui permet de les brûler à tout instant avec un suffisant excès d'air; les foyers à chargement mécanique, parce que le chargement est continu.

D'une manière générale, la composition et l'aspect de la fumée dépendent de deux facteurs : la nature du combustible et la conduite de la combustion.

Depuis le coke, qui en aucune circonstance ne donne lieu à émission de fumée visible, jusqu'à certaines houilles grasses et bitumineuses d'où se dégagent, aussitôt qu'on les chauffe, des flots de gaz chargés d'une suie épaisse, l'échelle des charbons présente tous les degrés. D'autre part, tout charbon, quel qu'il soit, brûle sans fumée noire, à la condition que son oxydation soit complète : c'est théoriquement incontestable; mais il suffit d'une faible quantité de carbone pour souiller fortement les gaz de la combustion et, avec l'intermittence des charges, il est souvent difficile au chauffeur d'éviter le dégagement d'hydrocarbures incomplètement brûlés dans les premiers instants qui suivent chaque enfournement de charbon.

Un chargement continu résout le problème; il place la combustion dans les conditions d'un régime permanent et, si l'afflux d'air est convenablement réglé, ce régime est naturellement celui d'une combustion sans fumée sensible, d'autant plus facilement que les foyers à chargement continu produisent d'ordinaire la combustion méthodique.

Un chauffeur soigneux et qui ne craint pas sa peine réalise sensiblement ces mêmes conditions sans le secours d'aucun appareil spécial : il a soin de charger fréquemment et par petites charges; il pousse progressivement vers l'autel le combustible transformé en coke et réserve à la houille fraîche le devant de la grille, suivant le principe de la combustion méthodique. Il n'est pas dit que la conduite du feu qui supprimera le plus complètement les émissions de fumée visible sera nécessairement la plus économique, car elle pourra bien comporter en moyenne l'admission d'une quantité d'air surabondante; quoi qu'il en soit, s'il y fait attention et si son service n'est pas trop intensif, l'ouvrier peut, dans une assez large mesure, et sans complication d'outillage, réduire la durée et atténuer la teinte des émissions de suie : en ce sens l'adage est vrai, que le meilleur fumivore est un bon chauffeur.

Il y a toutefois des limites. Certains combustibles maigres et propres sont peu fumeux tout naturellement; par contre, les conditions pratiques du travail ne permettent guère

au chauffeur le plus expérimenté d'éviter la production de fumée opaque si on l'approvisionne de charbons gras et impurs.

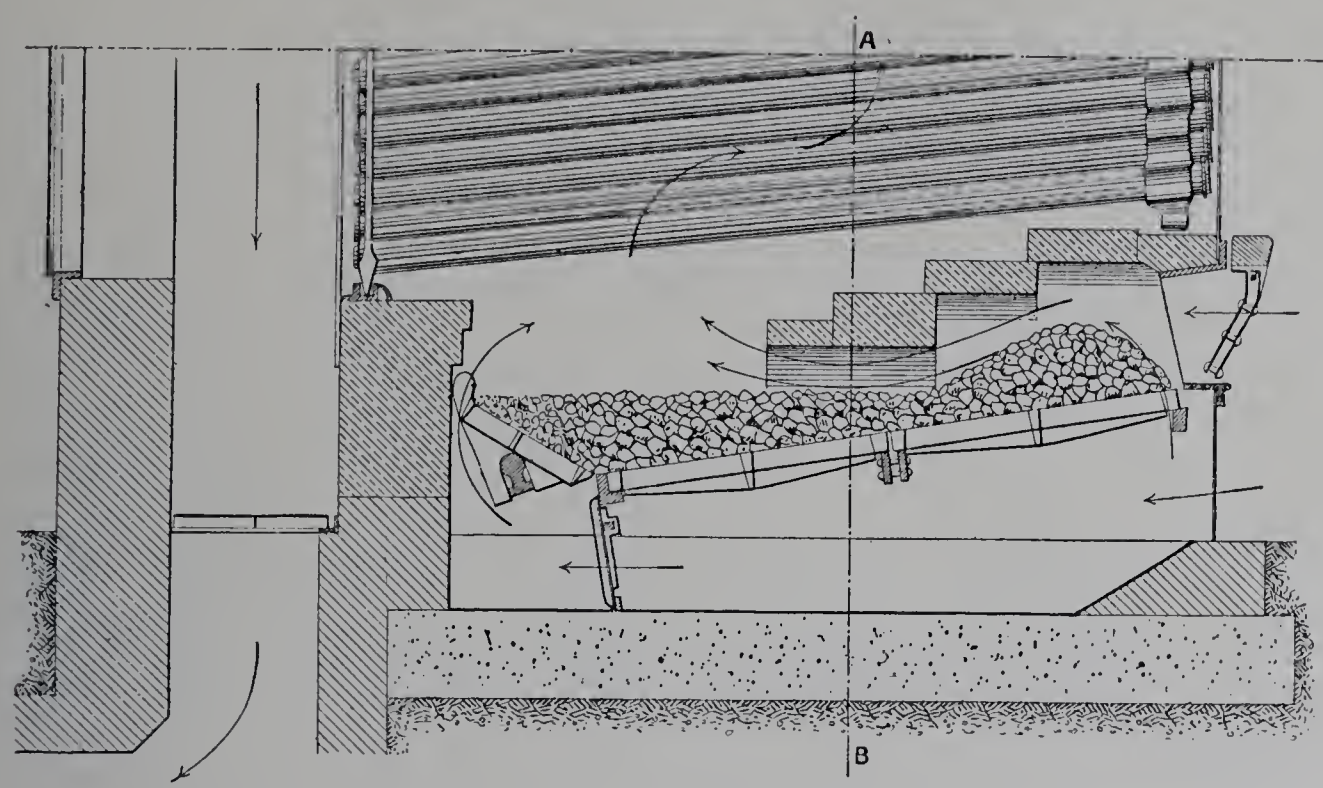


Fig. 202. — Foyer Joseph Hinstin.

Sans renoncer aux avantages du chauffage à la main, on a quelquefois cherché à disposer les foyers de manière que le chauffeur se trouve obligé, pour ainsi dire, de réaliser la combustion méthodique. C'est le but du système Joseph Hinstin, présenté par la Société générale de fumivorité, de Paris. La grille (fig. 202 et 203) est en deux parties, séparées l'une de l'autre par une voûte surbaissée en maçonnerie réfractaire : le charbon frais est chargé sur la première partie, où il distille et se transforme en coke; sur la seconde, le coke achève de brûler. Avant chaque charge, le chauffeur doit repousser vers le fond une certaine quantité de combustible incandescent. Les gaz développés dans le premier compartiment se brassent et s'échauffent en passant sous le pont et se mêlent à ceux du second compartiment où les réactions s'achèvent. Au bout de la grille se trouve une partie formant jette-feu, afin de permettre d'éliminer de temps à autre le résidu incombustible qui tend à s'y accumuler. L'air comburant arrive en partie au travers de la grille, en partie au-dessus

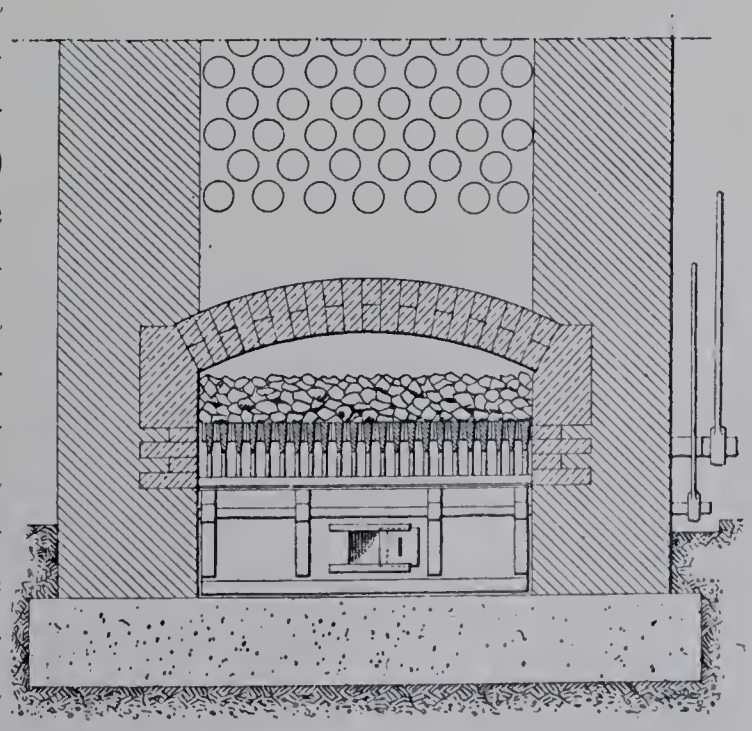


Fig. 203. — Coupe par AB de la fig. 202.

IMPRIMERIE NATIONALE

de la couche de combustible, par des ouvertures réglables ménagées dans la porte de chargement du foyer; enfin une admission d'air complémentaire a lieu tout à fait à l'arrière au travers du jette-feu : mais, pour que celle-ci ne soit pas surabondante, la partie correspondante du cendrier est fermée par un écran dans lequel un simple ouvreau se trouve ménagé. La voûte en briques réfractaires demande naturellement à être soigneusement construite et maintenue en bon état. La conduite du feu exige un tour de main particulier de l'ouvrier.

Souvent, laissant au foyer la disposition ordinaire, on se contente de faciliter la tâche du chauffeur en lui fournissant le moyen de forcer temporairement le tirage, en même temps que d'activer le brassage du gaz après chaque chargement. On sait, par

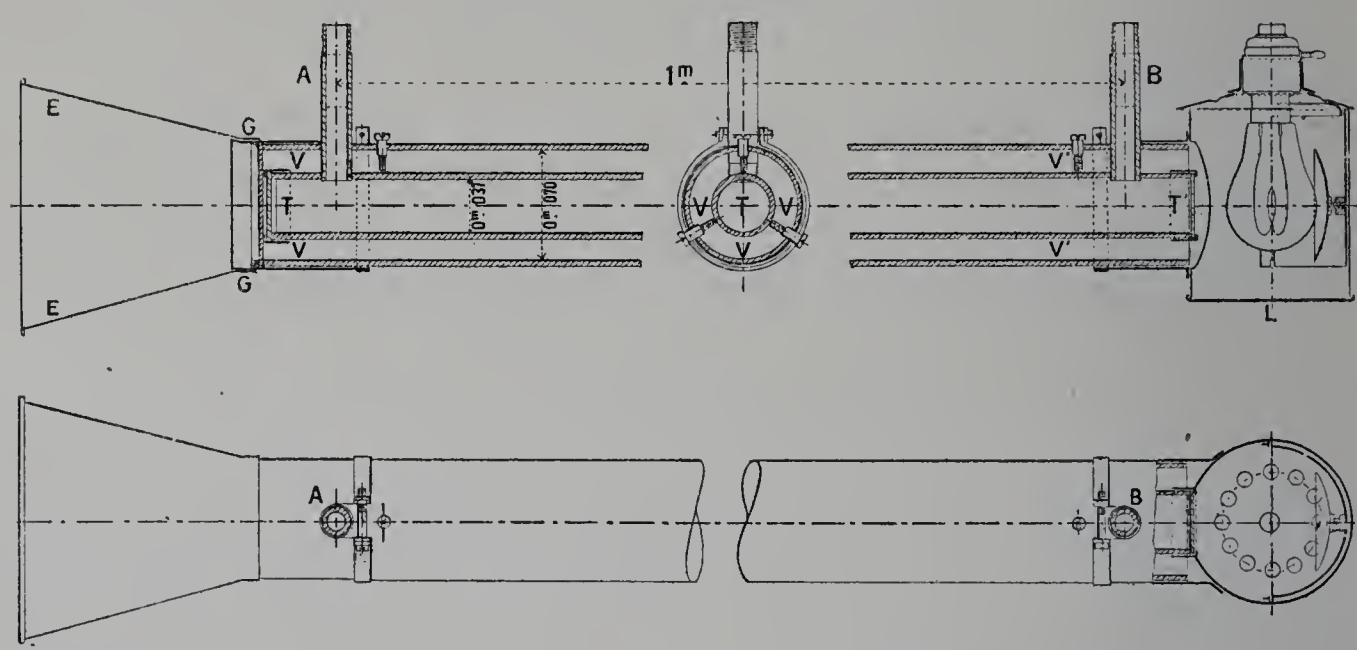


Fig. 204. — Indicateur de l'intensité de la fumée.
(Association autrichienne des propriétaires d'appareils à vapeur.)

exemple, que c'est le principe du fumivore Orvis, appareil simple, peu coûteux à installer, toujours prêt à servir. L'objection faite aux dispositifs de ce genre est de donner lieu à une notable consommation de vapeur si on les laisse fonctionner longtemps de suite. Les générateurs Belleville sont couramment pourvus d'un mélangeur de gaz, rampe à jets de vapeur disposée dans le foyer au-dessus de la porte de chargement.

Pour observer et définir l'intensité de la fumée produite à chaque instant, la Société d'assurance et de surveillance des chaudières à vapeur, de Vienne (Autriche), a constitué l'appareil représenté fig. 204. Une dérivation du gaz de la combustion, canalisée par les tuyaux A et B, parcourt le tube TT', muni de vitres claires à ses extrémités. Une lampe L éclaire à la fois ce tube et le tube concentrique VV'. Un verre dépoli GG, protégé par l'écran tronconique EE contre l'éclairement extérieur, montre par transparence :

1° En son centre, un disque plus ou moins foncé suivant que la fumée est plus ou moins intense;

2° A son pourtour, une zone sur laquelle on dispose, pour servir de comparaison, les teintes conventionnelles qui définissent l'échelle des intensités. On peut adopter, par exemple, l'échelle de M. Ringelmann.

Ce n'est pas seulement par l'abondance et le noircissement des poussières, par l'obscurcissement des brouillards, en un mot, par les inconvénients manifestes de la suie, que l'émission des produits de la combustion dans l'atmosphère des grandes villes est susceptible de nuire. Ces gaz sont, par essence, irrespirables; certains sont délétères. Il est vrai qu'ils tendent, même en air calme, à s'élever en se diluant dans l'atmosphère, tandis que la suie retombe. Néanmoins il y a là un côté de la question qui mérite que l'on y prenne garde. Or il est à noter que les différents moyens dont nous venons de parler pour atténuer les émissions de fumée noire n'ont pas avec l'insalubrité des gaz de la combustion un rapport nécessaire. Le produit gazeux le plus insidieux, à raison de sa toxicité, est l'oxyde de carbone, tandis que la production de fumée noire est liée à la distillation des hydrocarbures. Sans doute, une combustion chimiquement complète ne laisserait ni oxyde de carbone, ni suie; mais ces deux produits, bien que résultant l'un et l'autre d'une combustion inachevée, ne prennent pas nécessairement naissance dans les mêmes circonstances. C'est ainsi qu'une grille recouverte d'une couche épaisse de coke incandescent ne donne que des gaz invisibles, alors qu'elle fournit une proportion maximum d'oxyde de carbone.

§ 2. Emploi d'hydrocarbures liquides comme combustibles.

Foyers à mazout. — Simplification extrême de la main d'œuvre, alimentation rigoureusement continue du foyer, absence de fumée incommode et de gaz toxique, ces avantages se trouveraient tous réunis si l'on substituait au charbon, comme combustible, un hydrocarbure liquide.

En particulier, le mazout, ou résidu lourd de la distillation du naphte du Caucase, offre pour le chauffage des générateurs de vapeur un intérêt de premier ordre; malheureusement le champ d'utilisation s'en trouve limité par les frais de transport et par les tarifs de douane.

La distillation des pétroles bruts de Bakou, après avoir donné environ 3 p. 100 de produits légers et 80 p. 100 d'huile lampante, laisse 17 p. 100 de résidu.

C'est un produit visqueux de densité 0,91, ne dégageant pas beaucoup de vapeurs au-dessous de 100 degrés, ne s'enflammant qu'à 150 degrés.

Il contient 10 ou 12 p. 100 d'hydrogène et son pouvoir calorifique est de 10.000 à 11,000 calories par kilogramme, soit supérieur de 20 à 30 p. 100 à celui de la houille; en outre, sa combustion exige un moindre excès d'air, d'où moindre perte de chaleur par les gaz de la cheminée: finalement le mazout vaporise, à poids égal, un tiers de plus que le charbon.

Pour le brûler, il faut le mélanger intimement à l'air en le pulvérisant. La chaudière à tubes d'eau, système Schuchow, exposée par M. Alexandre Bary, de Moscou, possède

un foyer à mazout, avec pulvérisateurs à air comprimé. Le pulvérisateur se compose essentiellement d'une tuyère de 11 millim. 5 de diamètre intérieur, dans l'axe de laquelle peut être avancée plus ou moins une aiguille creuse mesurant 10 millimètres de diamètre à l'extérieur, 8 millimètres intérieurement. Le mazout est amené sous pression par ce canal central; un jet vif d'air comprimé arrivant par l'espace annulaire le saisit et l'entraîne. Le jet résultant brûle, en une flamme longue, dans une chambre de combustion à parois réfractaires percées d'ouvreaux. La haute température à laquelle se trouve porté le briquetage réfractaire empêche l'extinction prématurée de la flamme et échauffe l'air comburant. Il y a place, dans la largeur du foyer de la chaudière exposée, pour trois brûleurs semblables, pouvant vaporiser chacun 600 kilogrammes d'eau par heure.

Chauffage mixte. — En France, les hydrocarbures liquides ne sauraient être appliqués d'une manière générale au chauffage des chaudières à vapeur; mais on peut trouver, dans certains cas, avantage à un chauffage mixte par la houille et par le pétrole lourd ou le goudron. On adjoint, à un foyer ordinaire, des brûleurs à pulvérisation permettant d'envoyer au-dessus de la grille, lorsque le besoin s'en fait sentir, des jets de flamme d'hydrocarbure. Ces jets agissent à la fois comme source de chaleur additionnelle et comme brasseurs de gaz; ils peuvent donc être, entre les mains du chauffeur, un adjuvant puissant pour donner de la souplesse au foyer. C'est naturellement sur les locomotives et à bord des bateaux que l'idée a trouvé le plus de faveur. La Compagnie générale des appareils économiques, de Paris, expose un type d'*éjecteur-mélangeur* pour chauffage mixte, qui se prête à l'utilisation des goudrons de gaz : l'appareil est disposé, non seulement pour pulvériser ce liquide, mais pour entraîner en même temps dans le jet une quantité d'air suffisante pour sa combustion complète. A cet effet il comprend deux trompes successives.

La première, à deux tuyères concentriques, effectue la pulvérisation et l'entraînement du goudron par un jet de vapeur : le combustible arrive par le centre, comme dans le pulvérisateur à air précédemment décrit, et la vapeur par l'intervalle annulaire; la seconde, à trois tuyères concentriques, opère avec le jet combustible ainsi obtenu un double mélange d'air.

§ 3. Dispositifs de tirage.

Tirage naturel; tirage artificiel. — Les foyers des générateurs d'usine fonctionnent au tirage naturel dans la très grande majorité des cas. Parfois on a recours au soufflage en cendrier clos, notamment pour pouvoir brûler des charbons de qualité inférieure, dont le bas prix paye les frais du soufflage. Les foyers soufflés par jets de vapeur, comme les appareils Kudlicz et Meldrum décrits plus haut, sont des applications de ce principe.

Le tirage artificiel par aspiration est d'un usage très répandu pour les appareils

mobiles : toutes les locomotives, la plupart des locomobiles doivent exclusivement leur tirage à la vapeur d'échappement; quand celle-ci manque, le souffleur y supplée.

Mais pour les générateurs fixes, il n'y a pas lieu de faire appel à ces artifices.

On est maître de donner à la cheminée une section et une hauteur qui assurent un bon tirage, largement variable à volonté grâce à l'étranglement du registre.

Cheminée Prat. — Il n'en est pas cependant toujours ainsi. Il peut y avoir telle installation temporaire où il sera plus économique de compliquer un peu l'exploitation journalière que de construire une grande cheminée.

C'est aux cas de ce genre que le système de tirage artificiel dû à M. Louis Prat, de Paris, convient particulièrement. C'est un tirage par éjecteur (fig. 205).

A la base d'une cheminée métallique évasée, dont les dimensions n'ont rien de comparable à celles de la cheminée qu'il faudrait établir pour le tirage naturel, les gaz de la combustion débouchent par une grosse tuyère convergente; dans l'espace annulaire compris entre cette tuyère et la cheminée, une nappe d'air sous pression est lancée de bas en haut par l'action d'un ventilateur soufflant établi à côté.

Le ventilateur est ainsi placé en dehors de l'action destructive des gazs chauds, ce qui n'est pas le cas des mécanismes de *tirage induit* expérimentés à bord de certains navires.

L'inventeur fait remarquer que, si le système fonctionne à puissance constante, la dépression obtenue sera maximum quand le débit sera minimum, c'est-à-dire que l'air sera aspiré par une force d'autant plus grande au travers de la couche de combustible que cette couche sera plus résistante, ce qui est favorable à la régularité d'allure du feu.

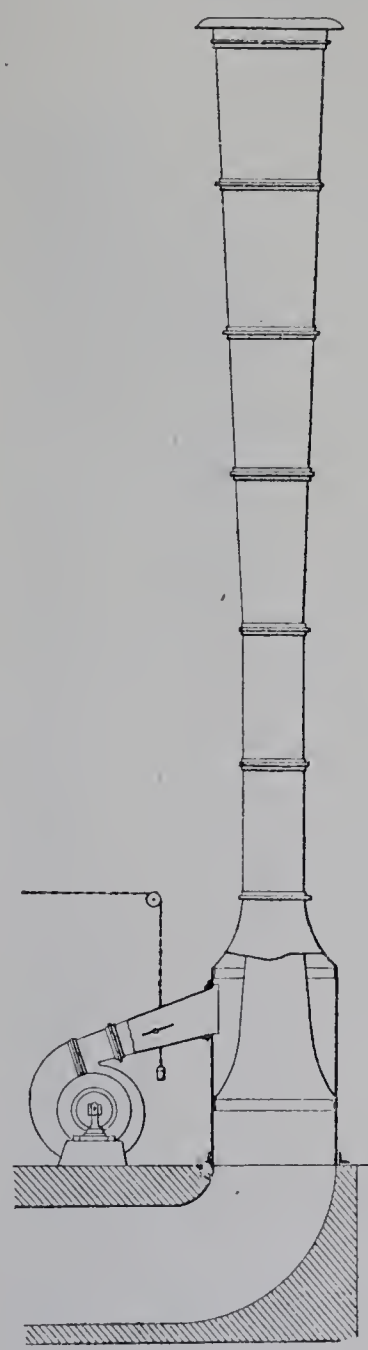


Fig. 205. — Cheminée Prat.

§ 4. Construction des fourneaux et des cheminées.

La construction des fourneaux de chaudières, ainsi que des cheminées en briques, est un art qui réclame des connaissances techniques et une habileté spéciale. A Paris, les maisons de M. Jules Cordier aîné, de MM. Toisoul, Fradet et Cie, de MM. Nicou et Demarigny sont au nombre de celles réputées de longue date pour les travaux de ce genre. M. Jules Cordier expose diverses dispositions propres à accroître, lorsqu'elles sont appliquées à propos, le rendement des générateurs : voûte en brique au-dessus du feu; air comburant admis en partie au travers de la grille, en partie au-dessus du

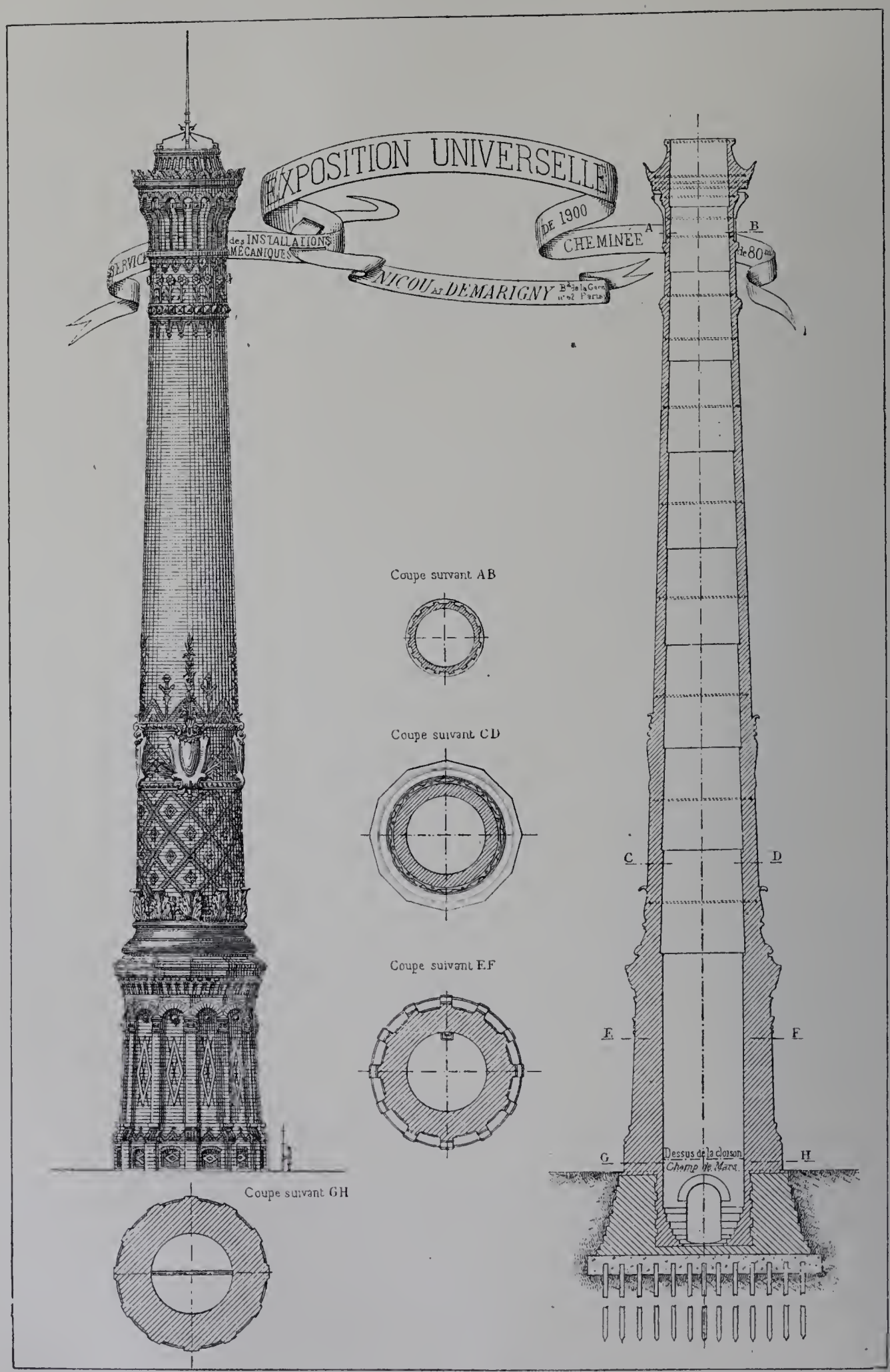


Fig. 206. — Cheminée de l'usine La Bourdonnais. (MM. Nicou et Demarigny.)

combustible au moyen d'ouvreaux percés dans la région de l'autel. Ces afflux d'air subissent, l'un et l'autre, un réchauffage préalable : des canaux sont ménagés dans les maçonneries au contact des parois du foyer et l'air y circule avant d'aboutir, d'une part au cendrier dont la devanture est tenue close, d'autre part à la chambre de combustion. Complication de construction mise à part, c'est récupérer sous une forme rationnelle une partie de la perte par rayonnement.

MM. Nicou et Demarigny se sont remarquablement distingués, à l'Exposition, par le projet et l'exécution de la grande cheminée de l'usine La Bourdonnais. Mesurant 80 mètres de hauteur, 4 m. 50 de diamètre intérieur au sommet (afin que sa section vaille à peu près 1/10 de la surface totale des grilles à desservir), et 12 mètres de diamètre extérieur à la base, le poids de cette cheminée atteint 5,733 tonnes.

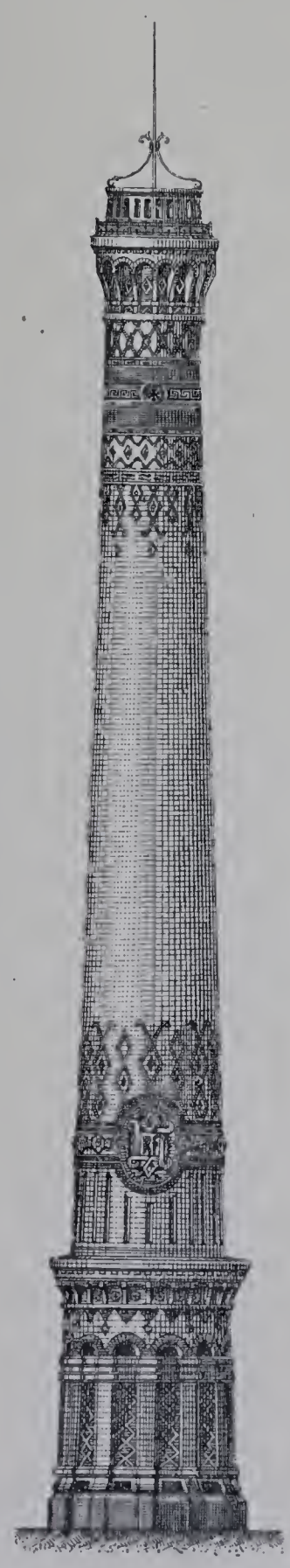


Fig. 207. — Cheminée de l'usine Suffren.

Des soins tout spéciaux ont dû être apportés à l'exécution des fondations. Le sol sur lequel on avait à établir l'édifice était ainsi composé : à la surface, une terre assimilable à du remblai jusqu'à 4 mètres environ de profondeur, puis du sable et du gravier sur même épaisseur; à 8 m. 25 au-dessous de la surface commence une couche de glaise d'épaisseur variable, 7 m. 50 en moyenne; enfin, sous la glaise, se trouve un sol résistant constitué par une couche épaisse de sable graveleux superposé à l'argile plastique. On ne pouvait asseoir les fondations sur la première couche de sable, que la profondeur des carneaux souterrains aboutissant à la cheminée obligeait d'entamer; on a donc dû aller chercher la seconde couche sableuse au travers de la glaise au moyen d'un pilotis. On a fait d'abord une fouille circulaire, mesurant 18 mètres de diamètre et 6 m. 90 de profondeur, c'est-à-dire s'arrêtant à 1 m. 35 au-dessus de la couche de glaise; puis on a battu jusqu'au fond de cette couche, à refus sur le terrain solide, 133 pieux en chêne de 33 centimètres d'équarrissage, parfaitement droits et sains. Ces pieux étaient répartis sur six circonférences distantes de 1 m. 30 l'une de l'autre; leur espacement circonférentiel d'axe en axe variait, sauf pour le premier cercle, de 1 m. 16 à 1 m. 31. Le pilotis une fois établi, la fouille fut approfondie jusqu'au contact de la glaise et la tête des pieux emprisonnée dans un vaste gâteau en béton de ciment, de 18 mètres de diamètre et 1 m. 85 d'épaisseur. Sur ce béton a été assis un massif de meulière, ne dépassant pas le niveau du sol et évidé pour la pénétration des carneaux : puis est venu l'ouvrage de briques. Un calcul, imité de celui qui avait servi pour les fondations du Palais des machines de 1889, a indiqué que la

charge répartie sur le pilotis et la glaise atteindrait à peine, au maximum, 35 kilogrammes par centimètre carré de pieu et 2 kilogr. 5 par centimètre carré de terre, en supposant une pression de vent de 270 kilogrammes par mètre carré de surface plane, ce qui revient, pour une cheminée ronde, à 180 kilogrammes par mètre carré de section diamétrale.

La résistance au vent de la cheminée elle-même a été largement assurée par la progression des diamètres et des épaisseurs depuis le sommet jusqu'à la base : pour une pression de vent de 135 kilogrammes par mètre carré de section diamétrale, la courbe de stabilité ne s'écarte guère de l'axe de plus de 1/5 du rayon. Quant à la charge sur la maçonnerie, en supposant la même pression de vent, elle ne dépasse nulle part 10 kgr. 4 par centimètre carré.

La figure 206 rappelle la forme très satisfaisante de cette belle cheminée, ornée d'une décoration céramique élégante, en même temps que suffisamment sobre pour un édifice d'Exposition.

Du côté Suffren, ce sont MM. Toisoul, Fradet et Cie qui ont exécuté, sur les plans de l'Administration, une cheminée offrant les mêmes dimensions générales et des dispositions analogues (fig. 207).

En dehors d'une application réelle, comme c'est le cas pour les deux constructions précédentes, une cheminée d'usine n'est pas un objet commode à exposer en nature. M. Max Ferbeck, de Welkenraedt (Belgique), se contente de montrer des dessins. Ce constructeur, dont la maison est fort ancienne, a édifié un grand nombre de cheminées en maçonnerie, dont une de 80 mètres à l'usine de l'Espérance, près de Liège (Société des aciéries d'Angleur). Il emploie des briques spéciales, dont il calcule la charge pour un maximum de 10 kilogrammes par centimètre carré.

CHAPITRE IV.

RÉCEPTEURS À MOUVEMENT ALTERNATIF.

I

GÉNÉRALITÉS.

Conditions actuelles d'emploi. — Les récepteurs destinés aux services généraux des établissements industriels ont pour mission de faire tourner à vitesse constante un arbre auquel est appliquée une résistance plus ou moins variable, constituée d'ordinaire par un couple électromagnétique ou par la réaction d'une courroie.

Il y a grande diversité de besoins quant à la puissance moyenne de chaque unité, et c'est une des qualités précieuses de la machine à vapeur d'offrir, sous ce rapport,

une remarquable souplesse d'application. En France, d'après la statistique officielle afférente à l'année 1900, les machines à vapeur fixes en activité sont au nombre total de 50,000 et représentent une puissance de 1,600,000 chevaux, soit une moyenne générale de 32 chevaux par machine. Des moteurs de quelques chevaux rendent de très bons offices; sans doute leur consommation est élevée si on la compare à celle des grandes unités, de même que les frais de leur conduite et de leur surveillance; mais le prix du cheval-heure ainsi obtenu reste jusqu'à présent inférieur, dans bien des cas, à celui que tout autre système de moteur procurerait à puissance égale. A partir de quelques dizaines de chevaux ou mieux encore à partir d'une centaine, on construit des machines dotées d'une grande somme de perfectionnements, consommant peu, n'exigeant guère de dépenses de main-d'œuvre, et qui rendent des services inappréciables à la moyenne industrie : nous aurons, dans la revue des principaux appareils exposés, à en signaler nombre de types intéressants. Quant aux grandes unités, leur puissance s'élève de plus en plus. Ce sont surtout les progrès de l'électricité qui ont précipité ce mouvement; aussi bien du côté électrique que du côté mécanique, on a le plus grand intérêt, pour abaisser le prix de revient du kilowatt-heure, à réduire le nombre et à élever la puissance des groupes électrogènes. Lors de l'Exposition de 1889, une machine d'un millier de chevaux, comme celle qu'avait exposée M. Joseph Farcot, passait pour exceptionnelle; c'est aujourd'hui une unité courante. On a vu, page 40, que la puissance moyenne des machines en fonctionnement à l'Exposition était de 166 chevaux en 1889 et qu'elle s'élève à 973 chevaux en 1900. Les grands moteurs à triple expansion de la Société des ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg et de M. Borsig, dont la puissance est d'environ 2,000 chevaux avec la vitesse qui leur est imposée par le service électrique de l'Exposition, ont été étudiés en vue d'en développer 2,500 ou 3,000 à l'allure maximum. Le cylindre à basse pression de l'un de ces puissants moteurs mesure 1 m. 80 de diamètre et 2,800 litres de capacité; celui de l'autre est dédoublé : le travail de basse pression est partagé entre deux cylindres de 1 m. 34 de diamètre, ayant à eux deux une capacité de 3,370 litres.

Sans doute, on trouverait des puissances unitaires et des dimensions de cylindres plus grandes à bord de certains navires; dans quelques appareils de navigation, le diamètre du dernier cylindre a été porté jusqu'à 3 mètres; avec partage de la basse pression entre deux cylindres, on trouve 2 m. 60 à bord du *Deutschland*. Mais la question n'est pas la même. A terre, un moteur d'usine doit avoir une douceur, une régularité de vitesse, une souplesse de puissance, une facilité d'entretien, une lenteur d'usure, qui non seulement assurent une exploitation irréprochable et suffisamment aisée, mais abaissent au strict minimum, tous calculs faits et amortissement compris, le prix de revient du cheval-heure effectif.

Vitesse angulaire et vitesse de piston. — L'action motrice de la vapeur s'exerçant, d'une manière périodique, sur un ou plusieurs pistons, le mouvement rectiligne alternatif est transformé en rotation continue par le système de la bielle, de la mani-

velle et du volant. Une étude attentive des conditions de fonctionnement de cet antique mécanisme, jointe au progrès de la métallurgie et de l'outillage des ateliers, a permis de concilier avec des vitesses plus grandes qu'autrefois la douceur de la rotation et la stabilité de l'assise.

Sous le rapport du service à effectuer, la vitesse angulaire peut, dans une certaine mesure, être fixée arbitrairement, pourvu que le nombre des pôles de la machine électrique ou le rapport des poulies de transmission soit réglé en conséquence. Toutefois, les électriciens demandent aux machines à piston la rotation la plus rapide qu'elles soient capables de fournir, afin d'accoupler directement sur l'arbre à manivelles la partie tournante de la machine électrique et de réduire les dimensions de celle-ci. D'autre part, en ce qui touche le moteur lui-même, il y a avantage à tourner vite pour diminuer le poids et l'encombrement, pour atténuer les actions de paroi, pour rendre plus prompte l'action du régulateur.

Les forces centrifuges des pièces tournantes peuvent être exactement équilibrées. Elles exigent seulement des arbres et des paliers fortement établis, des coussinets à large surface, ajustés d'une manière parfaite et lubrifiés abondamment.

Mais, lorsqu'il s'agit d'un moteur de grandes dimensions, on ne peut augmenter beaucoup la vitesse angulaire sans que la vitesse des pistons atteigne une valeur élevée : c'est ainsi, par exemple, qu'un piston de 1 mètre de course, si la machine tourne à 120 tours par minute, a une vitesse de 4 mètres par seconde. Or la force d'inertie du piston et des pièces qui partagent son mouvement rectiligne alternatif a pour maximum le produit de la masse de cet ensemble par l'accélération du piston en fin de course ; pour deux systèmes semblables fonctionnant sous même pression de vapeur, le rapport de ce maximum à celui de la poussée de la vapeur est proportionnel au carré de la vitesse moyenne du piston. On conçoit donc que cette vitesse moyenne soit un des chiffres caractéristiques du fonctionnement dynamique d'une machine. Les forces d'inertie des pièces à mouvement alternatif exercent sur le couple moteur, tant qu'elles ne deviennent pas excessives, une influence régularisante ; mais elles tendent à produire des chocs sur les articulations ; elles se traduisent sur le bâti par des résultantes de trépidation et des couples d'oscillation. On les réduit en allégeant, dans la mesure qu'autorise la sécurité, la construction des pistons, des crosses et des bielles. On combat la tendance aux chocs, d'abord en réglant la distribution de vapeur de manière à assurer une transformation graduelle des forces sur le pied de bielle, puis en soignant l'ajustage des articulations et le guidage des patins de glissière ; les figures 208 à 213 montrent, par quelques exemples empruntés aux grandes machines de la Société des Établissements Weyher et Richemond, de la Compagnie de Fives-Lille, de MM. Carels frères, comment on dispose à cet effet les crosses, les têtes de bielle, et comment on résoud l'importante question d'un parfait rattrapage du jeu. Quant aux actions d'inertie exercées sur le bâti, on sait, en les opposant les unes aux autres, les équilibrer en partie, ou les orienter dans le sens où les fondations de l'appareil résistent le mieux aux trépidations : ce sont surtout les moteurs à plusieurs manivelles qui se prêtent à ces solutions

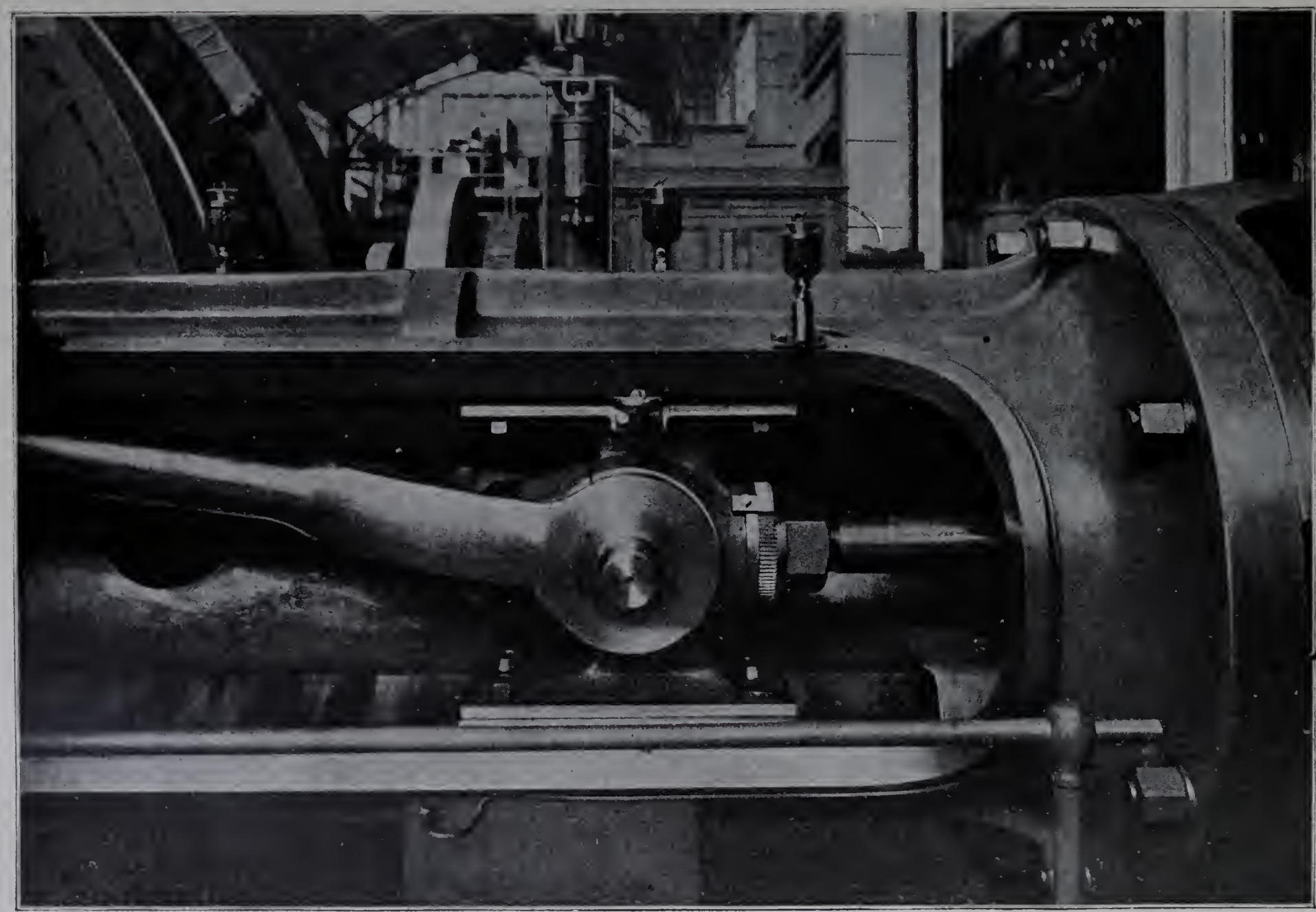


Fig. 208. — Tête de piston et pied de bielle. (Société des établissements Weyher et Richemond.)

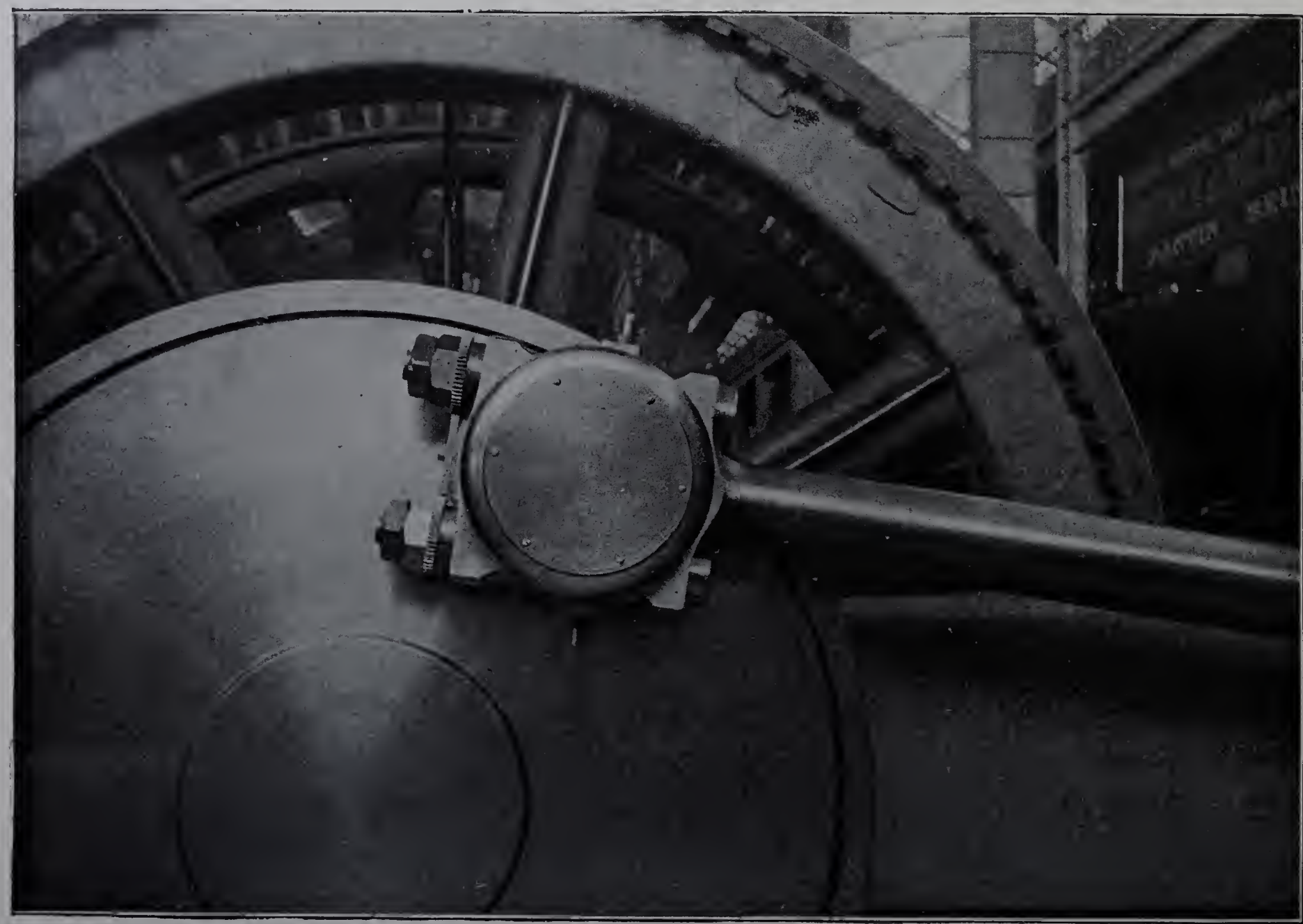


Fig. 209. — Tête de bielle et plateau-manivelle. (Société des établissements Weyher et Richemond.

approchées; on ne peut annuler totalement ces actions qu'au prix de dispositions cinématiques toutes spéciales, dont nous verrons quelques intéressants exemples, mais qui ne vont pas sans complications.

En 1889, la vitesse de rotation des grandes machines fixes s'abaissait parfois à 25 ou 30 tours par minute et ne dépassait guère 60 ou 80 tours; la vitesse moyenne des pistons ne s'élevait d'une manière courante qu'à 2 m. 50 ou 3 mètres par seconde. Les maxima d'alors sont devenus les minima d'aujourd'hui. Sauf une machine de filature, exposée par M. Dujardin et construite pour développer 1,200 chevaux à 62 tours par minute, aucune machine de la Classe 19 n'a été établie en vue d'une vitesse angulaire inférieure à 70 tours; les grands moteurs, d'une puissance variant de 300 à 3,000 chevaux, ont pour la plupart des vitesses angulaires comprises entre 70 et 125 tours, avec des vitesses moyennes de piston variant de 2 m. 50 à 4 m. 20 et fréquemment voisines de 3 m. 50.

On peut dire que les machines lentes d'autrefois ne se construisent plus guère et que la catégorie des machines *à moyenne vitesse* s'étend depuis 70 tours jusqu'aux environs de 150 tours par minute. Les vitesses de cet ordre laissent entièrement libre le choix du système de distribution; d'habiles constructeurs sont parvenus à faire fonctionner jusqu'à la limite supérieure de ce champ de variation la détente par déclenchement. Les lumières restent d'assez petite section relativement à l'aire du piston pour permettre de réduire les espaces morts à une minime fraction de la capacité du cylindre. S'il s'agit d'unités puissantes, les actions de paroi se trouvent atténuées par l'effet des grandes dimensions; tous les perfectionnements de détail sont d'ailleurs de mise pour abaisser la consommation de vapeur en même temps que pour assurer la perfection du jeu de la machine; le rendement mécanique peut être porté au maximum.

Dans les machines *à grande vitesse*, le nombre de tours par minute va de 150 à 400, 500 ou même davantage pour les très petites unités; il est souvent voisin de 200 ou 250. Ces moteurs rapides sont légers et peu encombrants. Les actions de paroi s'y trouvent réduites par l'effet de leur brièveté. On assure facilement la régularité de la rotation. Par contre, les espaces morts sont nécessairement notables à cause de la grandeur des lumières. Les mécanismes de distribution à liaisons complètes et à mouvements doux sont les seuls possibles. Les échauffements des coussinets et des glissières seraient particulièrement à redouter si des dispositions spéciales n'étaient prises.

Pour les appareils de cette catégorie figurant à la Classe 19, la course des pistons varie de 0 m. 08 à 0 m. 65 et leur vitesse moyenne de 1 m. 50 à 4 mètres par seconde. MM. Schneider et Cie exposent même une machine dont l'allure de pleine marche doit correspondre pour les pistons, dont la course est de 0 m. 45, à une vitesse moyenne de 5 m. 40; mais c'est, en réalité, une machine de torpilleur. Avec une vitesse angulaire de 200 tours par minute, une vitesse linéaire moyenne de 3 m. 50 à 4 mètres par seconde correspond à une course de 0 m. 50 à 0 m. 60; on peut établir, en se tenant aux environs de ces chiffres, des unités de grande puissance, bien appropriées aux besoins des installations fixes : nous aurons à en décrire de remarquables exemples, tels que la

machine de 600 chevaux à quadruple expansion de M. Franco Tosi, la machine à graissage forcé de MM. Delaunay-Belleville et Cie, d'une puissance de 1,250 chevaux à 250 tours par minute, et le grand moteur à simple effet de MM. Willans et Robinson, dont la puissance, répartie entre trois lignes de cylindres associées parallèlement, s'élève à 2,400 chevaux pour la vitesse de 200 tours.

Pression initiale et nombre de détentes. — La pression effective sous laquelle la vapeur est fournie aux machines fixes de l'industrie s'est tenue pendant longtemps aux environs de 6 kilogrammes par centimètre carré. C'est encore un chiffre très habituel. On sait maintenant produire la vapeur sous des pressions notablement plus élevées, pouvant aller jusqu'à 18 kilogrammes ou même plus; mais, à partir de 10 ou 12 kilogrammes, les questions relatives à la sécurité et à l'étanchéité des canalisations, des joints, etc., deviennent notablement plus difficiles.

Sous le rapport du rendement, il y a avantage à faire usage d'une pression initiale élevée, pourvu que l'expansion de la vapeur soit bien utilisée dans un récepteur approprié. Une pression voisine de 6 kilogrammes convient à la majorité des machines à simple expansion. Au fur et à mesure que la pression initiale s'élève, on voit apparaître la double, puis la triple et même la quadruple expansion, mais il n'est pas possible de limiter par des chiffres invariables le champ d'application de chacun de ces systèmes, parce que le nombre d'expansions doit être en relation à la fois avec l'expansion totale à produire et avec les éléments d'où dépend le degré de détente économiquement réalisable dans chaque cylindre : valeur des espaces morts, propriétés de la distribution, circonstances ou artifices tendant à atténuer les actions de paroi.

Une grande machine à distribution du genre Corliss, à espaces morts minimes, à enveloppe de vapeur complète et soigneusement purgée, est particulièrement apte à réaliser une longue détente tout en restant monocylindrique : ce sont des appareils de ce genre, de construction française, que la revue des types exposés nous montrera tout d'abord. Les pays du centre de l'Europe, où la distribution est habituellement faite au moyen de soupapes, organes qui ne se prêtent pas facilement à la réduction des espaces morts, n'exposent presque aucun moteur à simple expansion : les idées y ont évolué, plus vite qu'en France, vers la multiplication des cylindres successifs.

Les détentes en cascade ont pris naissance dans la marine. Elles étaient la condition indispensable de l'utilisation économique de hautes chutes de pression entre la chaudière et le condenseur, dans des machines utilisant, pour la distribution, le simple tiroir mû par excentrique. A terre, la machine verticale à grande vitesse s'est d'abord formée sur le modèle de l'appareil moteur des bateaux; elle participe aux caractères généraux de son type; comme lui, elle conserve le plus souvent une proportion d'espace mort et un système de distribution conduisant à porter au maximum le nombre des échelons de la détente.

D'une manière générale, la multiple expansion complique le moteur. Elle en augmente le poids et l'encombrement, puisque le cylindre de basse pression est à lui seul

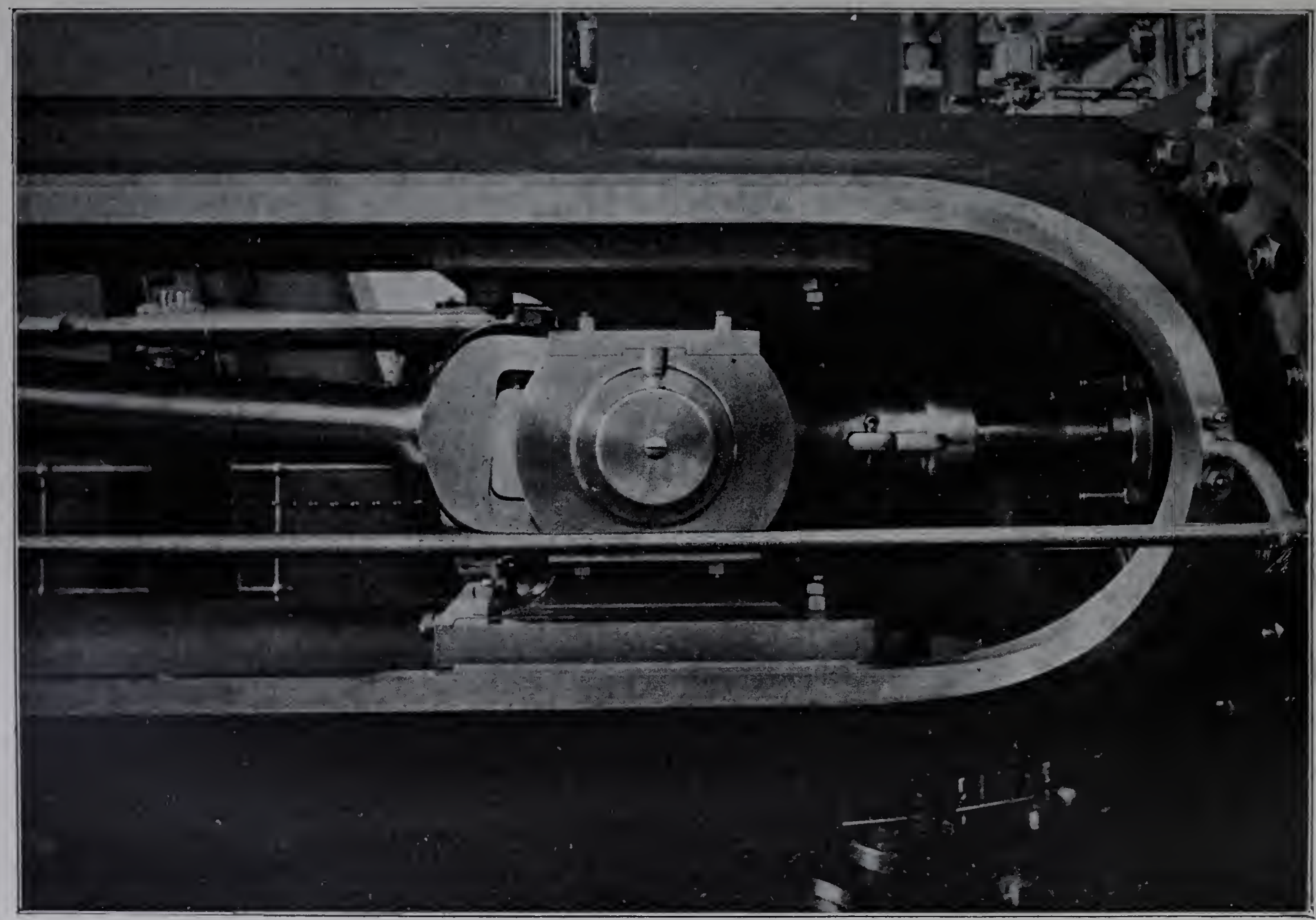


Fig. 210. — Tête de piston et pied de bielle. (Cie de Fives-Lille.)

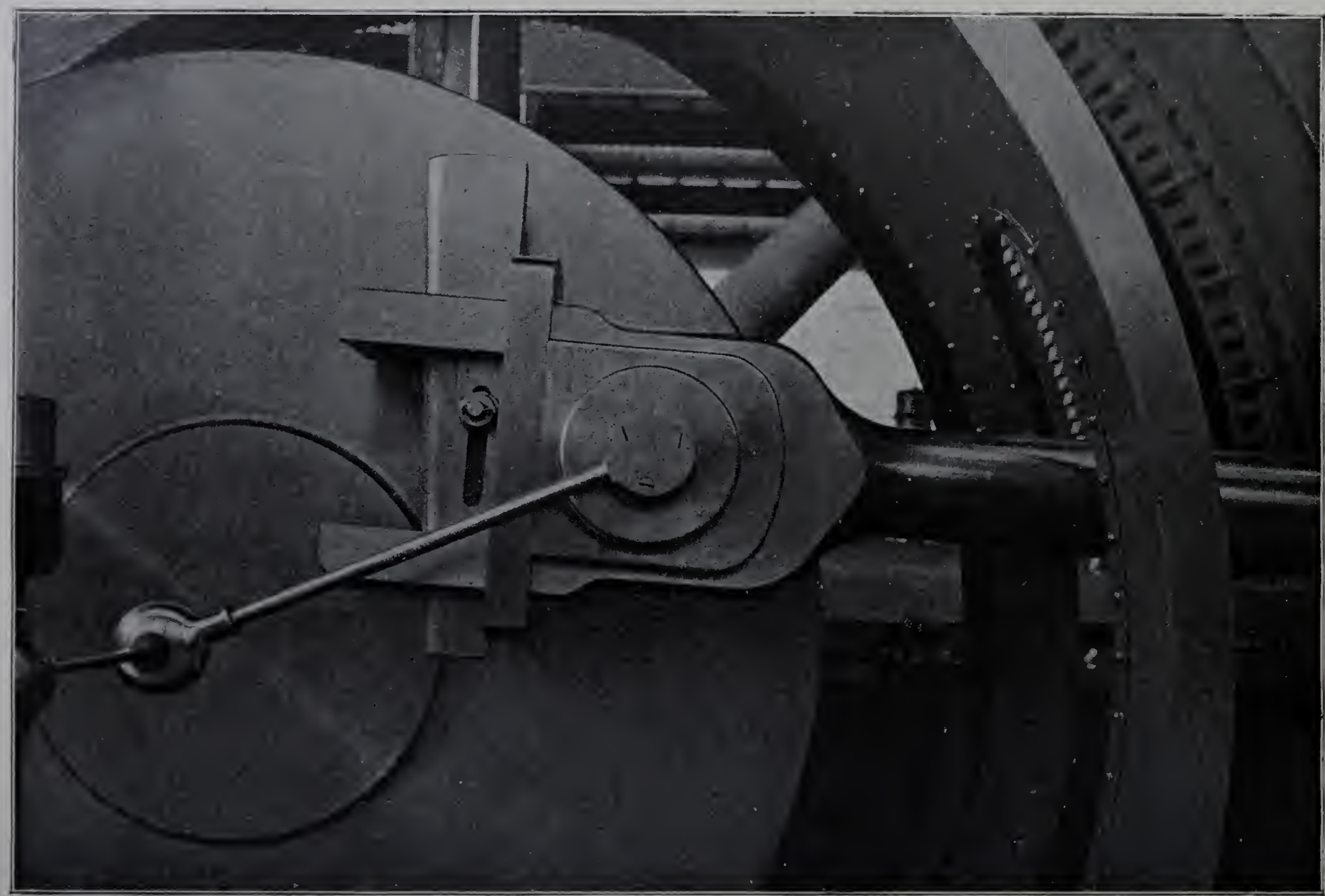


Fig. 211. — Tête de bielle et plateau-manivelle. (Cie de Fives-Lille.)

aussi volumineux que le cylindre unique d'une machine à expansion simple. Elle ralentit l'action du régulateur de vitesse. Mais la réduction des condensations à l'admission, l'atténuation de l'influence des espaces morts et les facilités qui en résultent pour la distribution sont des avantages de plus en plus décisifs, à mesure qu'on se familiarise avec l'emploi des hautes pressions et qu'on accélère la rotation des machines.

Nombre et groupement des cylindres. — Le nombre des cylindres n'est pas rigoureusement lié à celui des échelons de la détente. C'est ainsi que, sur les locomotives et dans certaines installations fixes (laminoirs, treuils d'extraction, etc.), il est usuel d'associer en parallèle deux cylindres égaux, travaillant à simple expansion sur deu manivelles en quadrature. Cet arrangement, qui supprime le point mort et régularise le moment moteur, permet les démarrages, les variations d'allure, les inversions de mouvement. Pour les moteurs actionnant des machines électriques, et généralement pour tous ceux ayant à effectuer un travail continu à vitesse constante, la question de démarrage n'intervient guère, mais il importe d'avoir une rotation uniforme, une exacte et prompte obéissance à l'action du régulateur. Sous ce point de vue, l'association de deux moteurs égaux travaillant sur un même arbre constitue une solution intéressante, susceptible de donner, dans le système de la simple expansion, des appareils d'une grande puissance et d'un fonctionnement très régulier. Pourtant, aucun exemple de cette solution ne figure à la Classe 19; toutes les machines à simple expansion sont en même temps à un seul cylindre.

Celles à double expansion ont deux cylindres, disposés soit parallèlement, soit l'un au bout de l'autre.

La première solution exige deux tiges de piston, deux bielles et deux manivelles, relativement légères d'ailleurs par rapport à la puissance de la machine, puisqu'elles n'ont à transmettre chacune, en régime normal, que la moitié du travail moteur. Les manivelles peuvent être calées soit à environ 90 degrés, soit à environ 180 degrés l'une de l'autre.

La disposition des manivelles en quadrature régularise le moment moteur. Elle exige l'interposition, entre les deux cylindres, d'un réservoir intermédiaire d'une assez grande capacité, de sorte que cet arrangement est particulièrement à sa place dans le cas où les deux manivelles sont établies à une certaine distance l'une de l'autre, aux extrémités d'un arbre droit portant sur sa partie centrale le volant et la résistance.

Cette disposition ne se prête pas à l'annulation des résultantes d'inertie sur les bâtis.

Pour les moteurs verticaux dont les cylindres, juxtaposés l'un à l'autre, agissent sur les manivelles d'un arbre coudé, un décalage voisin de 180 degrés est généralement préféré : il permet de n'avoir qu'un petit réservoir intermédiaire, la machine fonctionnant à peu près suivant le système de Woolf, et de réduire à un couple de balancement l'action que l'inertie des pièces à mouvement rectiligne exerce sur l'ensemble de la construction.

IMPRIMERIE NATIONALE

Enfin, la disposition en tandem s'emploie maintenant beaucoup pour les machines horizontales. Elle réduit le nombre des pièces et des articulations, simplifie le mécanisme de distribution et se prête d'une manière particulièrement heureuse aux variations étendues de la puissance, la répartition du travail entre les deux pistons devenant indifférente.

Les machines à triple expansion peuvent être constituées au moyen de trois cylindres parallèles, avec autant de bielles actionnant des manivelles judicieusement décalées; il est nécessaire que les dispositions de l'arbre et du bâti soient appropriées à cette solution. C'est celle en usage à bord des navires; nous la trouverons appliquée à quelques-unes des machines de la Classe 19, notamment à la grande machine verticale des Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg. Mais, le plus souvent, on ne donne pas aux moteurs d'usine plus de deux manivelles. Les machines à triple expansion, sur lesquelles porte notre étude, n'ont donc en général que deux lignes de cylindres. Quelquefois le petit et le moyen cylindres sont sur une ligne et le grand est sur l'autre : c'est le cas, par exemple, de la machine de MM. Bromley frères. Dans les moteurs de grande puissance, le grand cylindre est assez généralement dédoublé : il y a donc quatre cylindres, que l'on dispose suivant deux lignes parallèles; le cylindre n° 1 est sur l'une, le n° 2 sur l'autre, chacun avec un des n°s 3. Nous trouverons une puissante et intéressante machine, celle de M. Ringhoffer, où c'est le cylindre n° 1 qui a été dédoublé : mais c'est exceptionnel.

Quant aux moteurs à quadruple expansion, celui de M. Franco Tosi est à quatre cylindres groupés sur deux files; celui de M Charles Bourdon, qui est un appareil de petites dimensions, n'a que deux cylindres, à raison d'une disposition spéciale qui sera décrite en son lieu.

La proportion entre les capacités des cylindres successifs ou, ce qui revient au même, entre les surfaces de leurs pistons, est généralement calculée en vue d'égaliser les travaux en régime normal. Pour la double expansion, le rapport du grand cylindre au petit est le plus souvent compris entre 2.5 et 3 : la moyenne s'approche de 3 pour les grandes machines de plus de 300 chevaux à moyenne vitesse, tandis qu'elle est de 2.5 pour les moteurs à grande vitesse. Avec la triple expansion, les volumes successifs sont à peu près dans la proportion des nombres suivants :

Grandes machines à moyenne vitesse.....	1	2.5 à 3	5.5 à 7
Moteurs à grande vitesse.....	1	2 à 2.5	4 à 6

Enfin, dans la machine Tosi à quadruple expansion, les cylindres sont entre eux comme les nombres 1, 2, 3 1/4 et 7.

Forme des cylindres. Enveloppes de vapeur. — Il est avantageux, pour réduire les condensations à l'admission, de donner aux cylindres une forme allongée : on restreint ainsi, pour un volume donné d'admission, l'étendue de la paroi refroidissante et en particulier la portion de cette paroi constituée par le piston, qui ne se prête pas faci-

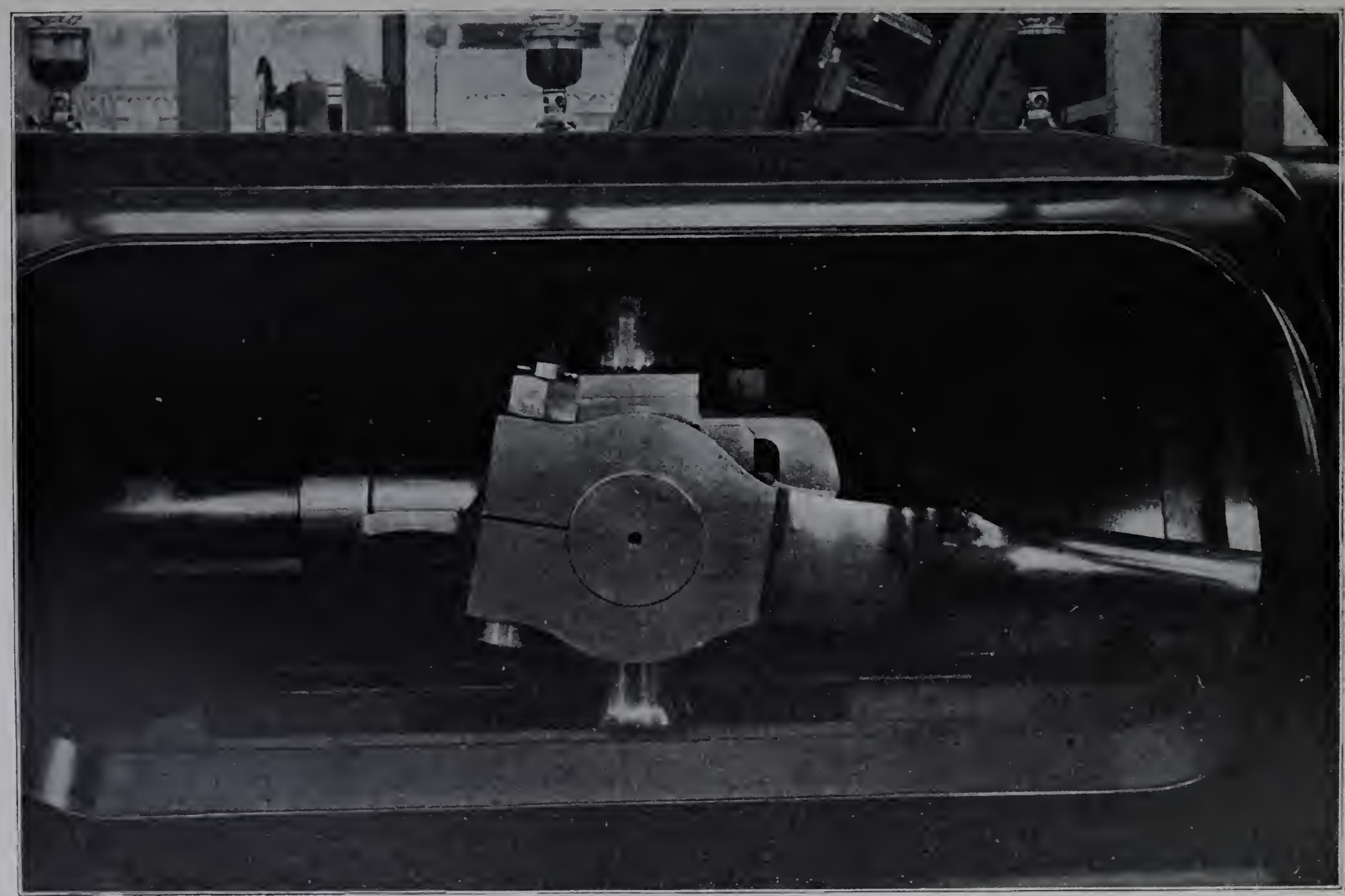


Fig. 212. — Tête de piston et pied de bielle. (MM. Carels frères.)

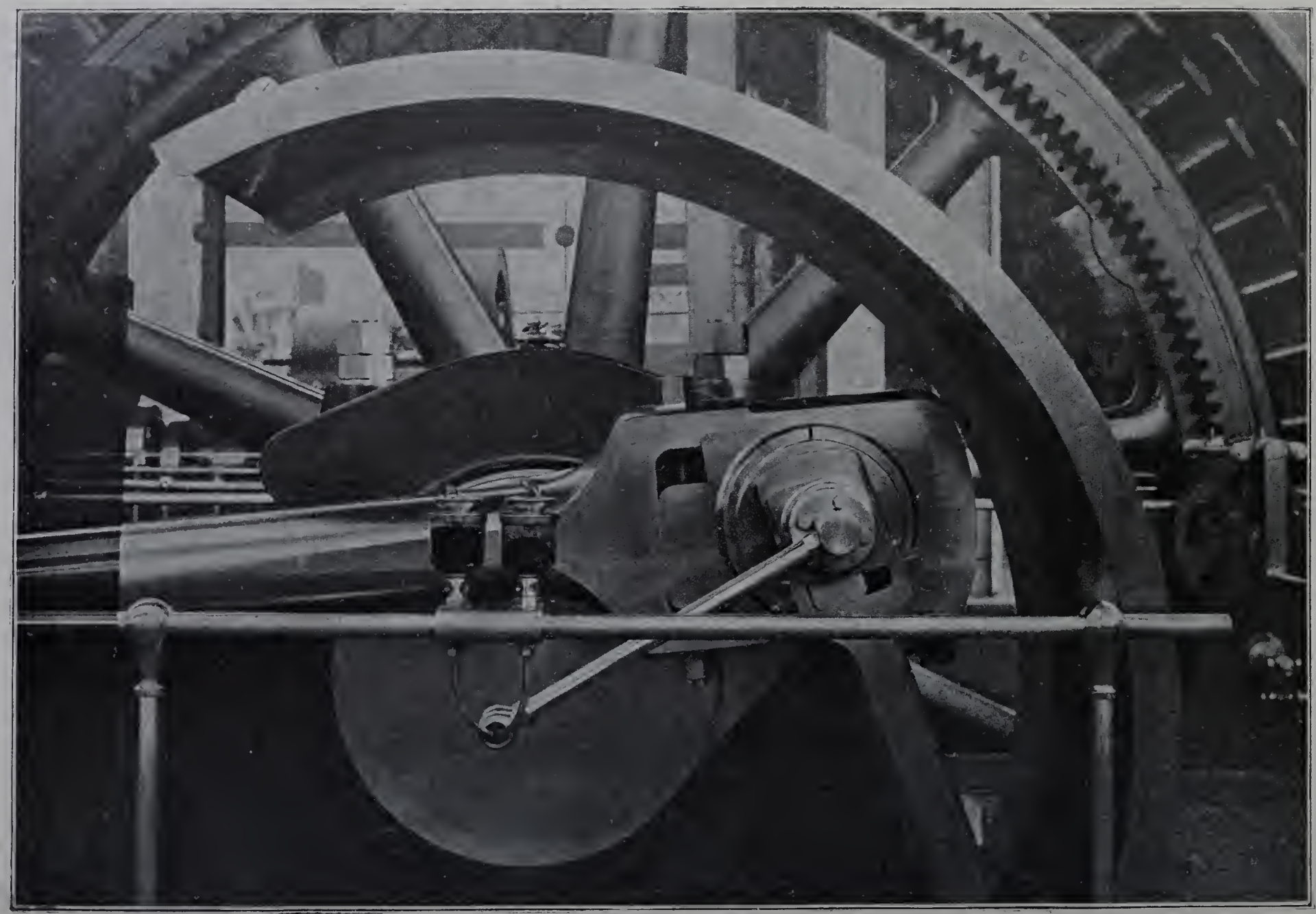


Fig. 213. — Tete de bielle et manivelle avec commande du condenseur. (MM. Carels frères.)

lement à l'artifice du réchauffage. C'est surtout pour la catégorie des machines à moyenne vitesse, que cette considération est intéressante.

Le rapport de la course au diamètre, pour le cylindre recevant la vapeur à haute pression, dépasse 2 dans quelques machines horizontales; il atteint 2.7, dans la machine Dujardin à triple expansion. Mais le constructeur est souvent obligé de se tenir plus ou moins notablement au-dessous de 2, afin de limiter la vitesse moyenne du piston. Dans les moteurs verticaux à grande vitesse, dont on s'attache à ne pas exagérer la hauteur, ce rapport est généralement voisin de 1, et assez fréquemment inférieur.

On n'a trouvé moyen, ni de rendre les parois des cylindres imperméables à la chaleur, ni de les réchauffer par l'extérieur autrement qu'à l'aide d'enveloppes de vapeur. Dans les moteurs à grande vitesse, où les actions de paroi n'ont pas le temps de développer beaucoup leurs effets, on se dispense de cette disposition, qui complique les

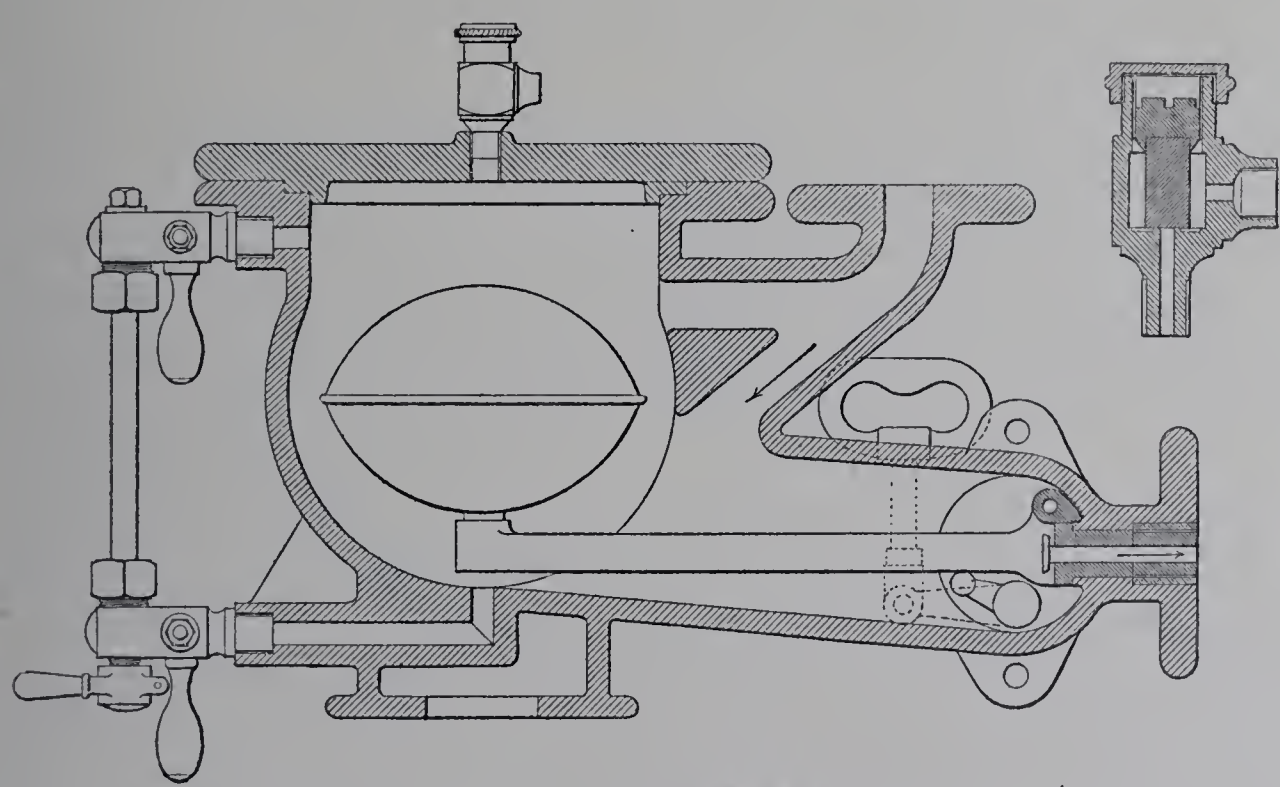


Fig. 214. — Purgeur automatique. (M. H. Bollinckx.)

cylindres et alourdit la machine. Mais dans tous les moteurs à moyenne vitesse de construction perfectionnée, les cylindres sont pourvus d'enveloppes, à moins qu'ils ne soient destinés à recevoir de la vapeur fortement surchauffée. Ce ne sont pas seulement les parois cylindriques que l'on réchauffe, mais aussi les fonds, car le fond joue tout entier le rôle de surface refroidissante dès le début de l'admission, tandis que la paroi cylindrique ne se découvre que progressivement, et il reste plus étendu qu'elle tant que le piston ne s'est pas avancé d'une longueur égale au quart du diamètre.

Pour la même raison, le réchauffage du piston serait un perfectionnement très logique. On recule d'ordinaire devant la complication d'une telle mesure. Nous verrons toutefois les curieuses dispositions proposées à cet effet par MM. Beer, Walschaerts et Charles Bourdon.

La vapeur, dans les enveloppes, peut être circulante ou stagnante. Dans le premier cas, elle chemine dans l'enveloppe de chaque cylindre avant de pénétrer à l'intérieur de celui-ci; dans le second cas, l'alimentation des enveloppes peut être rendue distincte de celle des cylindres, disposition qui facilite le réchauffage de la machine avant la mise en marche. Mais l'essentiel, dans un cas comme dans l'autre, est que l'enveloppe, dans toutes ses parties, soit parfaitement débarrassée de l'eau de condensation au fur et à mesure que celle-ci prend naissance. Une enveloppe mal asséchée est plus nuisible qu'utile. Il faut donc qu'un dessin judicieux de l'appareil permette à l'eau formée en un point quelconque des enveloppes de s'éliminer le plus directement possible par ruissellement sans s'accumuler nulle part. De la région basse où ce ruissellement la conduit, elle est renvoyée aux chaudières par une pompe de purge ou, à défaut, évacuée par un purgeur automatique.

Les purgeurs automatiques sont des appareils qui demandent à être choisis avec discernement et surveillés dans leur jeu. La figure 214 représente un type employé par M. H. Bollinckx.

Les réservoirs intermédiaires des machines à multiple expansion sont quelquefois munis d'un système de réchauffage, constitué par un faisceau tubulaire dans lequel on fait arriver de la vapeur à une température supérieure à celle du réservoir. Cette disposition est employée par MM. Dujardin et Cie, par la Société française de constructions mécaniques (machine Allis); nous la trouverons utilisée d'une manière intéressante dans la machine à vapeur surchauffée de MM. Stork frères.

Disposition horizontale ou verticale. — En 1889 on parlait encore de machines à balancier. Il n'est plus question de disposer une bielle motrice autrement qu'en prolongement de la tige du piston. Les machines sont horizontales ou verticales; dans ce dernier cas, elles appartiennent au type pilon.

Pour les grands moteurs à moyenne vitesse, quand on n'est pas à court de place, on donne généralement la préférence à la disposition horizontale, qui facilite le service et la surveillance, favorise la stabilité et, avec certaines distributions, celles à soupapes par exemple, simplifie le mécanisme. Il y a lieu de prendre garde, dans cette disposition, à l'action de la pesanteur sur les pistons. Si un piston est sans contre-tige et le presse-étoupe sans jeu transversal, la tige peut se trouver exposée à des efforts de flexion exagérés et le presse-étoupe à des frottements excessifs. Le constructeur doit franchement choisir entre le système du piston traînant et celui du piston flottant. Dans la première solution, le piston porte de tout son poids sur la partie inférieure du cylindre, qui lui sert de guide; le presse-étoupe reçoit un jeu latéral suffisant pour soustraire la tige à toute flexion. Il convient, pour rendre peu sensible l'usure du cylindre, que la chemise de celui-ci soit en fonte dure et que l'appui du piston se fasse par une surface étendue. On emploie donc un piston à deux toiles fortement écartées l'une de l'autre; le portage a lieu, soit sur les bagues, qui doivent être proportionnées et assujetties en vue de ce rôle, soit sur le corps même du piston, tourné à un diamètre aussi voisin de

l'alésage du cylindre que le permet la nécessité des dilatations. Dans le système du piston flottant, celui-ci est entièrement supporté par une tige et une contre-tige, de telle manière que la chemise du cylindre ne subisse que le frottement résultant de l'élasticité des bagues; l'extrémité antérieure de la tige repose sur la glissière par l'intermédiaire de la crosse et, pour peu que le poids du piston soit important, la contre-tige repose aussi à l'arrière sur une glissière spéciale. En donnant d'ailleurs un léger jeu latéral aux presse-étoupes, on place ainsi l'ensemble de la tige et de la contre-tige dans des conditions de résistance simples et parfaitement définies.

La disposition verticale économise le terrain. Elle simplifie le guidage des pistons, qui n'ont aucune tendance au désaxement; les contre-tiges deviennent généralement inutiles, sauf, bien entendu, pour les pistons ayant au-dessus d'eux d'autres pistons en tandem. La hauteur de la surface cylindrique du piston peut être réduite à ce qui suffit pour une garniture étanche et l'on peut obtenir des pistons légers, quoique suffisamment résistants, en les faisant à une seule toile en forme de chapeau chinois, pourvu qu'on les constitue d'un métal de qualité supérieure; l'acier moulé paraît convenir. Un notable inconvénient de la disposition verticale, pour les machines de grandes dimensions, est de compliquer le service : on est obligé de recourir à des passerelles et à des escaliers. De plus, la stabilité de l'appareil est moins facile à assurer et certains systèmes de distribution deviennent moins simples. Les machines à grande vitesse, de formes compactes, de dimensions relativement restreintes, pourvues le plus souvent de distributions par tiroirs, sont presques toujours établies sur le type vertical, qui porte au maximum l'avantage de leur faible encombrement.

Arbres, paliers et bâtis. — Les arbres sont faits d'acier forgé. Il est bon de les forer suivant l'axe : c'est une garantie pour la perfection de la matière, outre que la section annulaire ainsi obtenue nécessite, à égalité de résistance, un moindre poids et, comme conséquence, un moindre travail de frottement dans les paliers. Les manivelles rapportées sont emmanchées à la presse hydraulique. Pour les équilibrer, on les prolonge en forme de contre-poids à l'opposé du tourillon, ou bien on les remplace par des plateaux-manivelles. Les tourillons sont fréquemment en acier trempé; on se trouve bien de les emmancher au moyen de la presse hydraulique.

Les paliers sont très robustes et fortement assujettis sur les fondations. Les coussinets sont d'une grande longueur, de manière à réduire la pression et à augmenter la surface offerte à la dissipation de la chaleur. Parfois une circulation d'eau est ménagée pour combattre les échauffements. Quand l'action de la bielle s'exerce sur un arbre coudé, chaque manivelle est encadrée d'aussi près que possible entre deux paliers qui sont fixés d'une manière extrêmement robuste sur la plaque de base, si même ils n'en font partie intégrante. Le long d'un arbre coudé à plusieurs manivelles, on n'hésite pas, à cet effet, à multiplier les paliers. Sans doute l'alignement de ceux-ci exige une construction et un montage de haute précision; mais c'est une difficulté qui n'a rien d'insurmontable et il est essentiel que l'arbre soit parfaitement assujetti.

Que la machine soit horizontale ou verticale, chaque cylindre a besoin d'être relié aux paliers de la manivelle correspondante (ou tout au moins au palier contigu à cette manivelle si celle-ci est en bout d'arbre) au moyen d'un fort entretoisement, que la pression de la vapeur sur les fonds du cylindre soumet à des efforts alternatifs de compression et d'extension; en même temps, la glissière doit être rendue solidaire de l'ensemble, afin de reporter sur l'assiette générale de la machine le couple antagoniste du couple moteur. C'est le double rôle du bâti, auquel la forme de poutre creuse convient bien.

Pour les grandes machines horizontales avec manivelle en porte à faux, le bâti généralement employé est celui à baïonnette, du type Corliss. A l'une de ses extrémités, ce bâti est fixé sur le palier de manivelle; parfois même il est fondu avec lui. A l'autre extrémité, le cylindre est assemblé au bâti par une couronne de boulons. Le sens de la rotation de la machine est choisi de manière à faire travailler principalement la glissière inférieure. La liaison de cet ensemble avec le massif de fondation, en dehors du palier, peut se borner aux supports nécessaires pour équilibrer le poids des pièces et les réactions verticales exercées sur la glissière; on dispose souvent un support sous la partie arrière du bâti et un autre sous le cylindre, en ménageant une liberté de glissement longitudinal pour le jeu des dilatations.

D'autres fois, le bâti des machines horizontales comporte une base plate, au moyen de laquelle la glissière repose de toute sa longueur sur le massif de fondation. On se rapproche ainsi plus ou moins de la disposition du bâti plat usité pour les petites machines; cette forme n'a rien d'incompatible avec la glissière cylindrique, et quelques constructeurs l'appliquent à des moteurs de grande puissance.

Le bâti des machines verticales comporte, sur une plaque de base extrêmement rigide avec laquelle les paliers sont assez généralement venus de fonte, un jambage oblique en forme de poutre creuse, portant sur une de ses faces une glissière verticale, tandis que le cylindre est boulonné sur son sommet. Quelquefois il y a deux jambages ainsi disposés en face l'un de l'autre, formant un tout symétrique et comprenant, entre leurs deux glissières, une crosse à double patin.

Dans certaines machines, notamment dans celles de grandes dimensions, on tient à alléger le système et à dégager le devant de l'appareil : le jambage d'avant est, en ce cas, remplacé par deux colonnes d'acier, verticales ou obliques, qui suffisent pour compléter la liaison du cylindre avec la plaque de base; le sens de la rotation est choisi de manière que l'orientation du couple, antagoniste du couple moteur, soit celle qui tendrait à redresser le jambage creux et à tirer sur les colonnes. La glissière est plate et, à raison de ce sens de rotation, le patin s'y trouve généralement appliqué; pour les conjonctures où la réaction transversale du pied de bielle change de sens, on munit, soit le patin de contre-patins enveloppant les bords de la glissière, soit celle-ci de contre-glissières latérales.

Dans certains moteurs à grande vitesse, le bâti subit une modification toute différente : il devient totalement enveloppant et forme une boîte close à l'intérieur de

laquelle on peut laisser les têtes de bielle barboter dans un bain d'huile et asperger les glissières, les tourillons de crosse et les tiges de piston.

Coussinets et garnitures. — On tend de plus en plus à faire porter le frottement des tourillons, non sur du bronze, mais sur un alliage spécial, métal blanc ou *anti-friction*. Le corps du coussinet, lorsqu'il ne sert plus que de support à l'alliage, n'a pas besoin d'être en bronze; un métal moins coûteux peut suffire.

La garniture des pistons est constituée d'ordinaire par des bagues fendues et élastiques, faites de fonte appropriée, parfois revêtues d'anti-friction et étagées au nombre de deux ou trois; le piston de basse pression de la machine de M. Ringhoffer n'a pas moins de quatre anneaux de garniture. Pour les petits et moyens pistons, ces anneaux peuvent sans difficulté être engagés, à la faveur de leur élasticité, dans un nombre égal de cannelures. D'autre fois, le piston porte une couronne boulonnée, dont l'enlèvement permet d'introduire un anneau ou deux anneaux superposés, sans surécarter les bords de leur fente; cette disposition est plus particulièrement réservée aux grands diamètres.

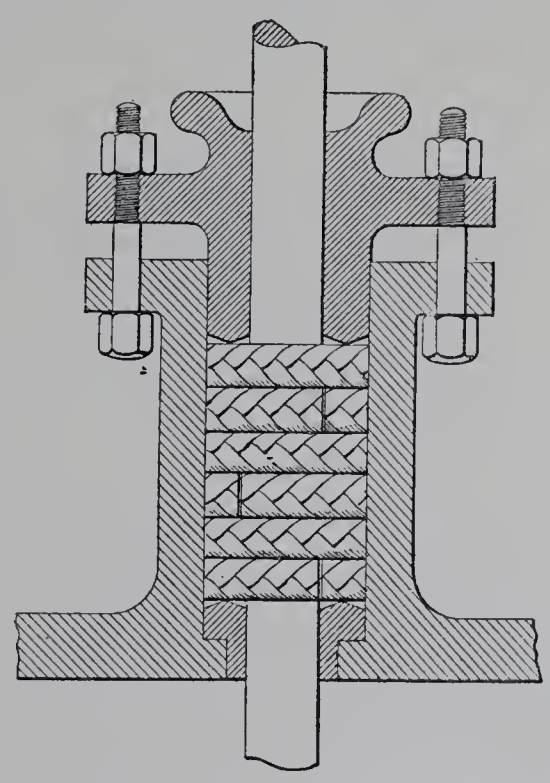


Fig. 215. — Garniture métallique Duval.

Pour le passage des tiges dans les fonds de cylindre, l'ancien presse-étoupe à garniture de chanvre ou de coton gras ne convient pas aux températures de la vapeur à haute pression ni, à plus forte raison, de la vapeur surchauffée. On emploie diverses garnitures réfractaires, ayant souvent pour base l'amiante, associée ou non avec des matières lubrifiantes; plusieurs exposants, tels que MM. Restein, Clement and C°, de Philadelphie, la Frictionless engine packing C°, de Manchester, présentent ce genre de solution.

D'autres garnitures, maintenant très employées, sont exclusivement métalliques. La fig. 215 montre l'arrangement des tresses métalliques de M. Paul Duval, de Paris. M. Louis Pile est également l'auteur d'une garniture métallique. Certains alliages tendres (métal blanc, etc.) permettent de constituer d'excellentes garnitures : on en forme des bagues fendues, à section triangulaire, ayant les unes la face tournée vers l'extérieur, les autres vers l'intérieur de l'anneau; on superpose ces bagues dans la boîte à bourrage, en les choisissant alternativement de l'une et de l'autre espèce et les mettant deux à deux en contact par leurs faces obliques, de manière que la pression longitudinale du presse-étoupe produise une double expansion latérale de la garniture, contre la boîte et contre la tige.

La garniture *métalline* de M. G. Brisch, de Berlin, est employée sur la grande machine de M. Borsig.

Un système intéressant et répandu est celui de la United States metallic packing C°, de Bradford (Angleterre) et de Philadelphie (Amérique). Les fig. 216 à 219 en font comprendre le principe. Deux anneaux de constitution semblable, placés l'un à la suite de l'autre, entourent la tige; chacun de ces anneaux se compose de quatre pièces, numérotées 5 et 5′ sur la fig. 217; les pièces 5, de la forme représentée par la fig. 218, sont des boîtes en bronze pleines d'alliage anti-friction; elles s'appliquent sur la tige,

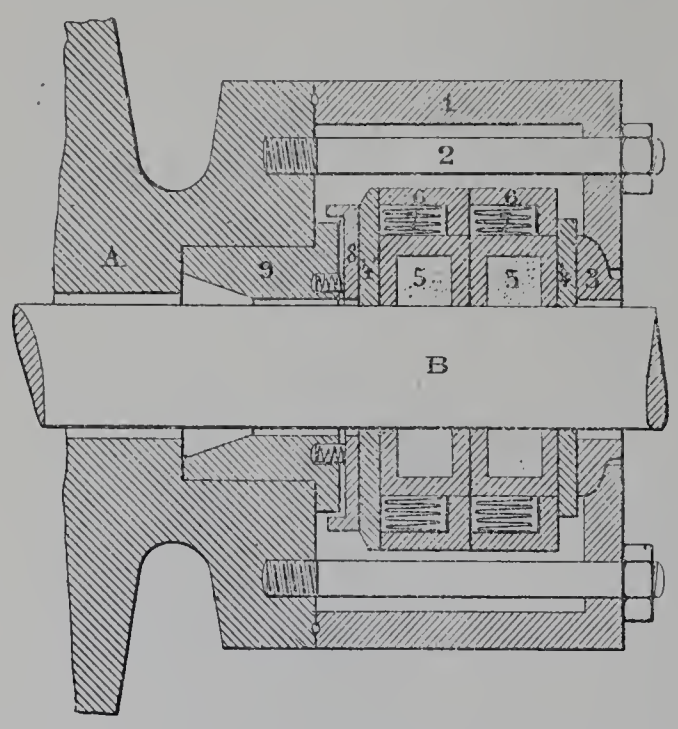


Fig. 216. — Garniture métallique américaine. (*U. S. metallic packing C°.*)

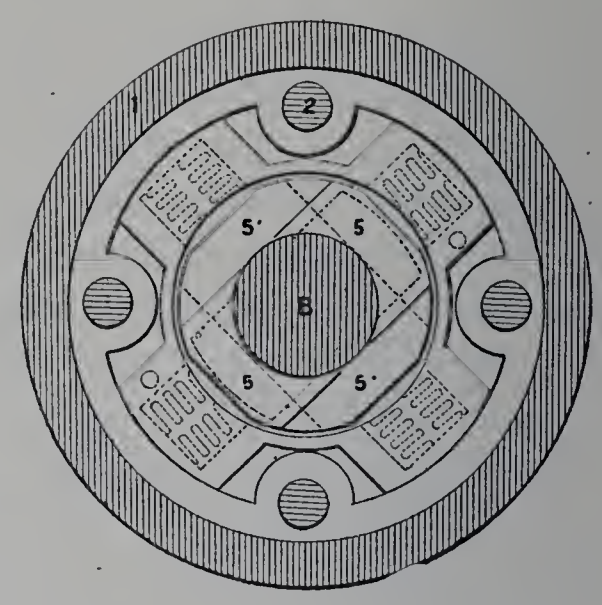


Fig. 217. — Coupe transversale de la garniture de la *U. S. metallic packing C°.*

qu'elles embrassent chacune presque sur une demi-circonférence; les pièces 5′ sont en forme de segments de cercle, appliquées latéralement sur les pièces 5 et complétant l'anneau. Des ressorts à boudin pressent vers le centre du système chacune des pièces 5 et 5′. L'un des deux anneaux ainsi constitués a ses pièces 5 dirigées comme les 5′ de l'autre et réciproquement. Dans le sens de l'axe de la tige B, les deux anneaux sont

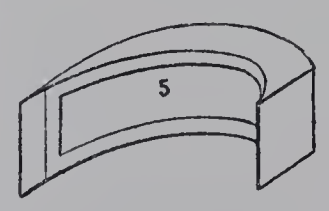


Fig. 218. — Segment garni d'antifriction. (Pièces 5 des fig. 216 et 217.)

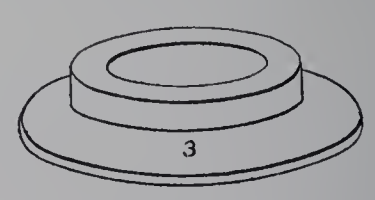


Fig. 219. — Joint à rotule. (Pièce 3 de la fig. 216.)

serrés l'un contre l'autre par deux plateaux 4 et 4′, compris eux-mêmes entre la table 8, qu'une couronne de petits ressorts à boudin tend à écarter de la bague de fond 9, et la pièce à rotule 3, qui s'appuie sur le couvercle de la boîte 1. Les pièce 9, 8 et 3 laissent passer très librement la tige; par le jeu autour de 9 et par l'interstice entre 9 et 8, les variations de pression de l'intérieur du cylindre se transmettent dans la boîte 1, assemblée à joint étanche sur A par les boulons 2. La tension des ressorts est réglée de

manière à empêcher la garniture de former reniflard en cas de vide dans la boîte; s'il règne dans celle-ci une pression effective plus ou moins forte, cette pression concourt avec les ressorts pour serrer les contacts. Les pièces 5, 5′, 4 et 4′ sont rodées les unes sur les autres; la rotule de 3 est rodée dans le couvercle de 1. La liberté de glissement des bagues entre les 4 et 4′, jointe à la liberté d'orientation qui résulte du joint à rotule, laisse toute facilité au jeu transversal de la tige.

Distribution. — Un tiroir mû par un excentrique constitue le plus simple des mécanismes de distribution; son oscillation garde une parfaite douceur pour toutes les vitesses de rotation compatibles avec le mouvement alternatif du piston moteur lui-même. Ce sont ces qualités, jointes à la commodité de la distribution par tiroir simple pour le changement de marche, qui en rendent l'usage à peu près universel sur les locomotives et à bord des bateaux. Pour les moteurs fixes ressortissant à la Classe 19, la question de changement de marche n'a pas à intervenir; mais la simplicité du mécanisme recommande le tiroir à mouvement harmonique comme organe distributeur sur les machines de puissance modeste, et la douceur de son jeu le rend à peu près indispensable sur toutes celles à grande vitesse.

Les formes de tiroir les plus usitées sont l'antique forme plane et la forme cylindrique. Le tiroir plan, pressé sur sa glace par la vapeur, donne une excellente étanchéité. C'est là un point d'importance, surtout pour une machine monocylindrique ou pour le cylindre à basse pression d'une machine à multiple expansion, où toute fuite du tiroir passe directement au condenseur. Mais, plus est grande la force d'application, plus s'accroît l'usure des surfaces frottantes, ainsi que le travail du mécanisme. Le tiroir cylindrique n'a d'autres frottements à surmonter que ceux résultant de la tendance à l'extension de ses bagues de garniture. L'aisance de son glissement le rend plus apte que le tiroir plan à distribuer, sans danger de grippement, la vapeur à haute température.

L'épure circulaire montre que les courtes admissions ne peuvent être données par un tiroir simple, sous peine d'aboutir à des compressions excessives et de laminer fortement la vapeur à l'introduction. Il est vrai que, si les espaces morts sont grands et si la machine tourne vite, une compression notable n'est pas inutile pour rendre progressifs les renversements d'effort sur la bielle; quant au laminage à l'introduction, on peut au besoin l'atténuer par l'emploi d'un tiroir à canal intérieur. La multiple expansion permet, en fractionnant la détente, de concilier la distribution par tiroir simple avec une pression initiale élevée. Mais on peut aussi obtenir, sans déformer le reste du diagramme, une détente plus longue que celle donnée par le tiroir simple, en adjoignant à celui-ci un second tiroir chargé de couper l'introduction. Ce tiroir est superposé au premier si celui-ci est plan; dans le système du tiroir cylindrique, il lui est intérieur, les deux organes formant deux fourreaux qui glissent l'un dans l'autre. La conduite du tiroir de détente exige un deuxième excentrique; mais, si le mécanisme est ainsi rendu un peu moins simple, la douceur de son jeu n'est pas diminuée.

Cette solution, dont le principe est dû à Jean-Jacques Meyer, permet de mettre aisément le degré d'introduction sous la dépendance du régulateur. L'arrangement de Meyer consistant à former le tiroir auxiliaire de deux parties dont l'écartement est variable,

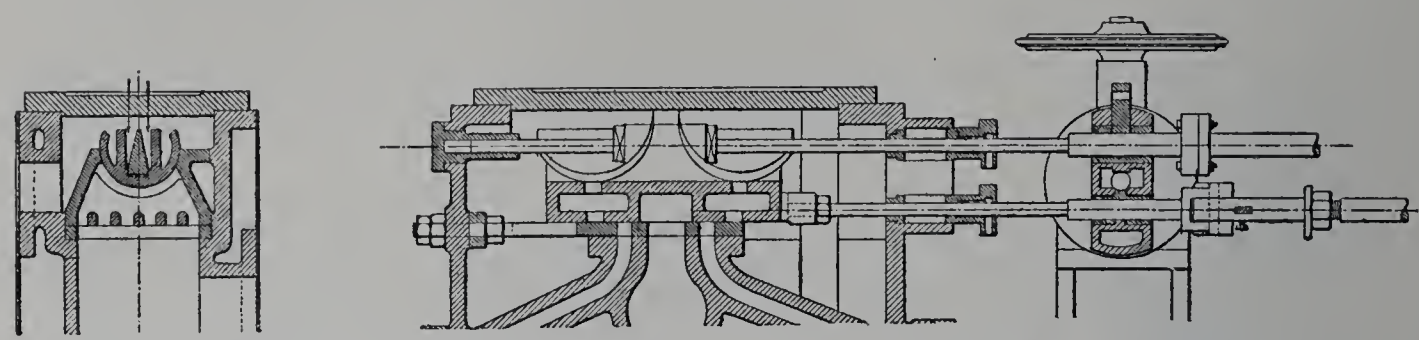


Fig. 220. — Tiroir plan avec détente Rider. (D'après le catalogue de M. H. Bollinckx.)

vissées qu'elles sont sur une tige à deux filetages inverses, fait généralement place aujourd'hui au dispositif de Rider : le tiroir de détente étant cylindrique (s'il est associé à un tiroir plan, il peut être seulement demi-cylindrique, ce qui permet de faire servir la

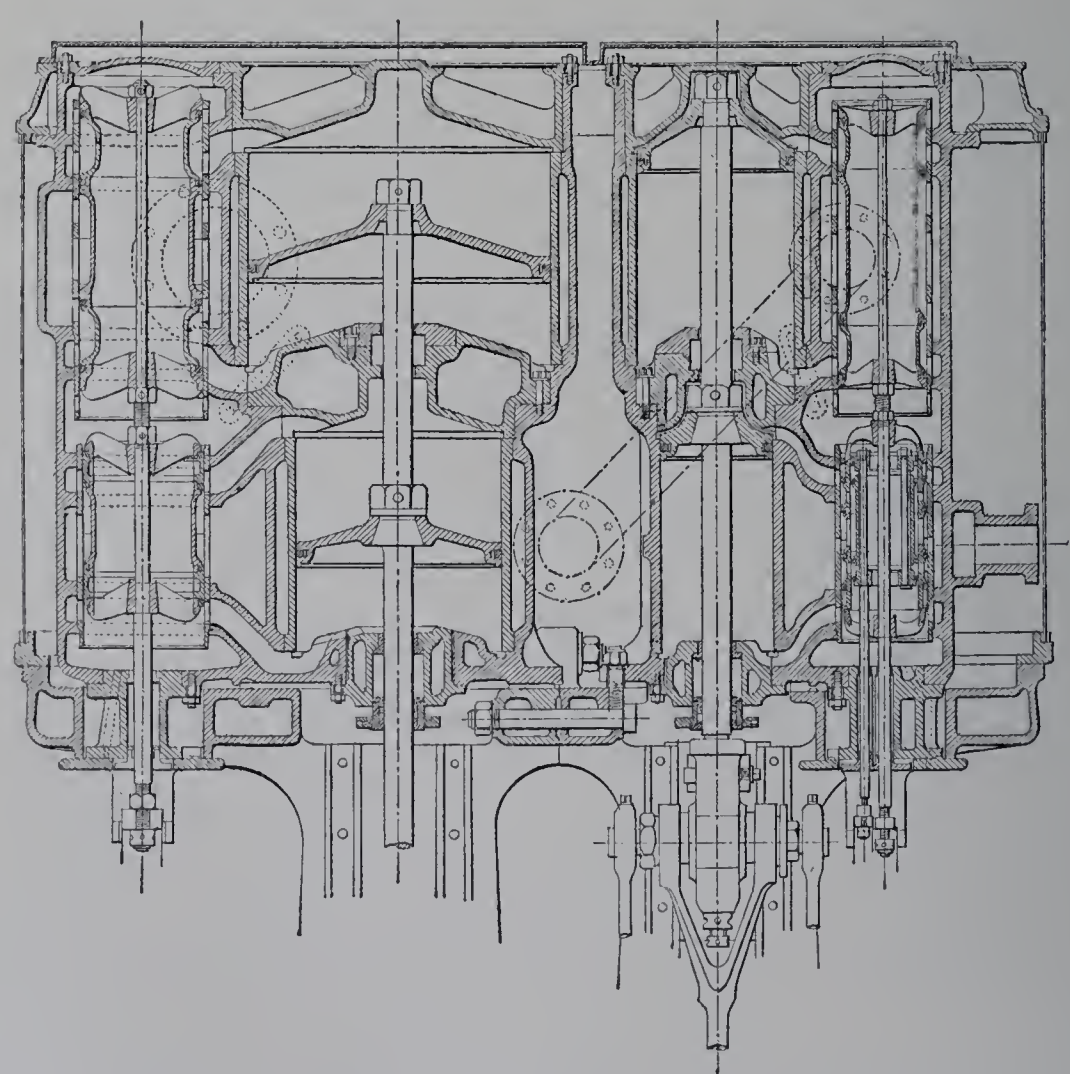


Fig. 221. — Distribution par tiroirs cylindriques dans une machine à quadruple expansion; admission variable au petit cylindre. (M. Franco Tosi.)

pression de la vapeur à l'étanchéité de son glissement sur le premier), ses bords actifs et les orifices correspondants du tiroir principal sont disposés suivant des arcs d'hélice, dont l'inclinaison est de sens inverse à l'*AV* et à l'*AR*, et dès lors il suffit d'un

déplacement angulaire du tiroir de détente autour de l'axe de sa surface cylindrique pour produire un effet équivalant à l'éloignement ou au rapprochement des deux tuiles de détente (fig. 220).

D'autres fois, c'est en faisant varier le calage de l'excentrique conducteur du tiroir auxiliaire que l'on modifie l'introduction : cet arrangement est tout indiqué pour les machines à rotation rapide, avec un régulateur à axe horizontal directement calé sur l'arbre moteur; il conduit à un ensemble fort simple. C'est ainsi qu'est réglée, par exemple, la distribution du cylindre à haute pression dans la machine Tosi à quadruple expansion (fig. 221).

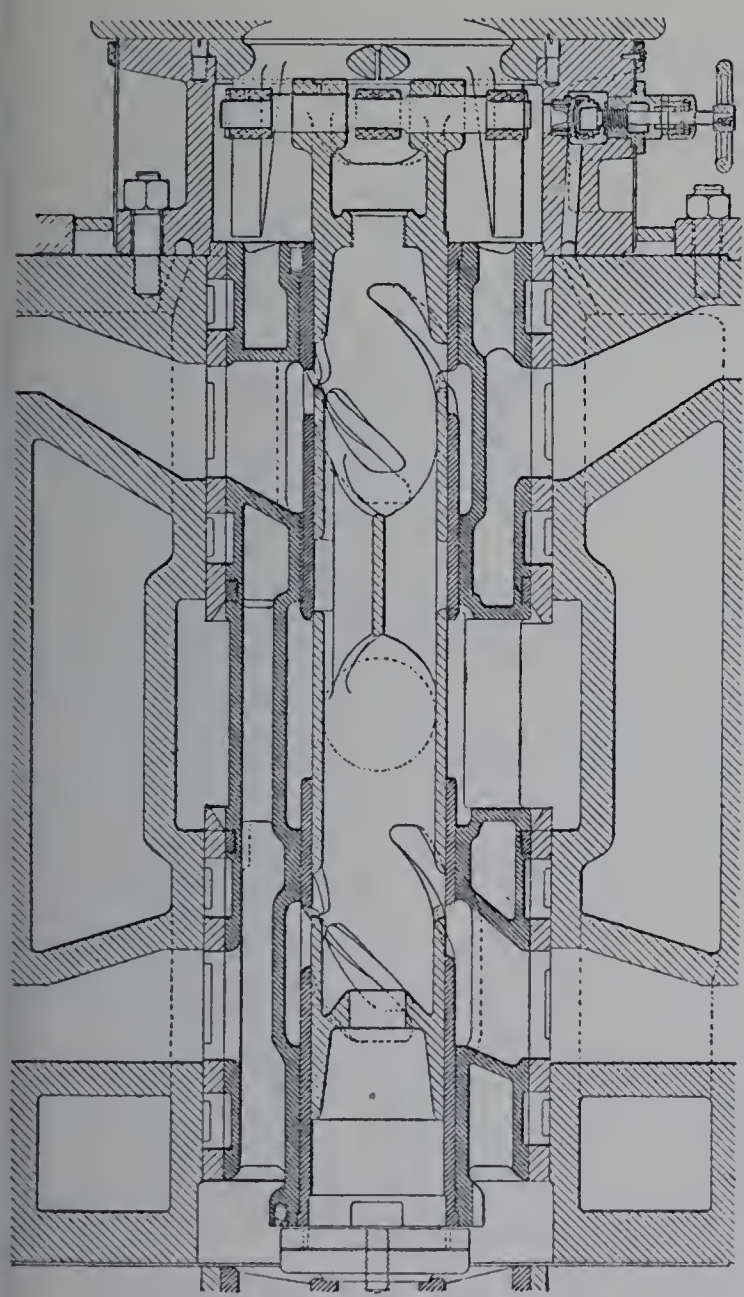


Fig. 222. — Distribution par tiroir rotatif avec admission variable. (MM. Sulzer frères.)

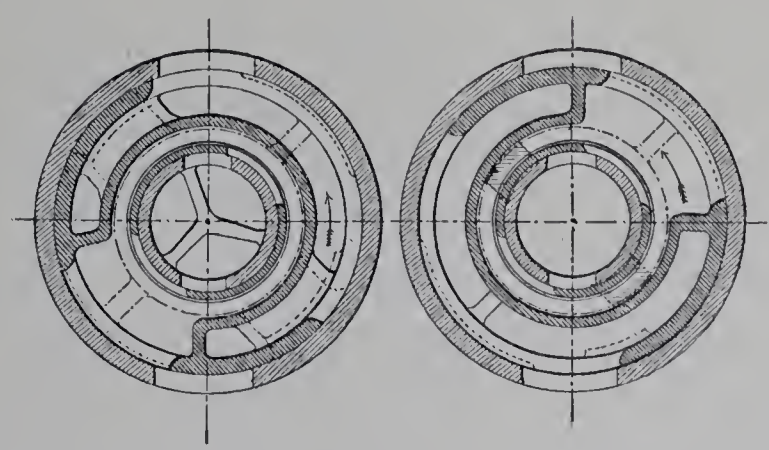


Fig. 223. — Coupes transversales du tiroir rotatif.

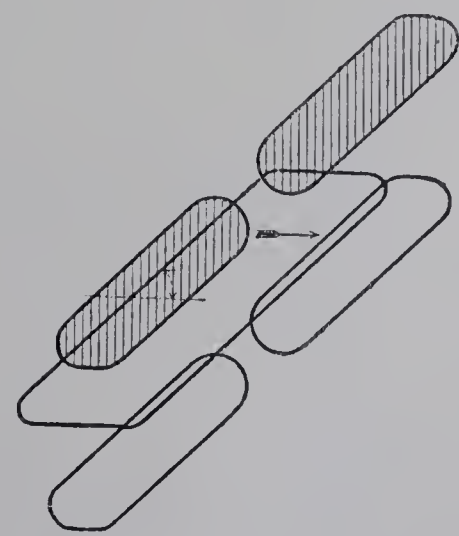


Fig. 224. — Disposition des lumières, la surface cylindrique étant développée (celles du manchon de détente sont hachurées).

On s'est ingénié de diverses manières pour modifier la loi du mouvement du tiroir simple : nous aurons l'occasion d'indiquer la curieuse solution de M. Claude Bonjour; un autre inventeur, M. Pierre Guédon, de Paris, imprime à un tiroir cylindrique, en même temps que le mouvement rectiligne fondamental, une rotation alternative autour

de son axe; mais, de tous les moyens de rendre la phase d'admission et celle d'échappement indépendantes l'une de l'autre, la superposition de deux tiroirs reste de beaucoup la plus usitée.

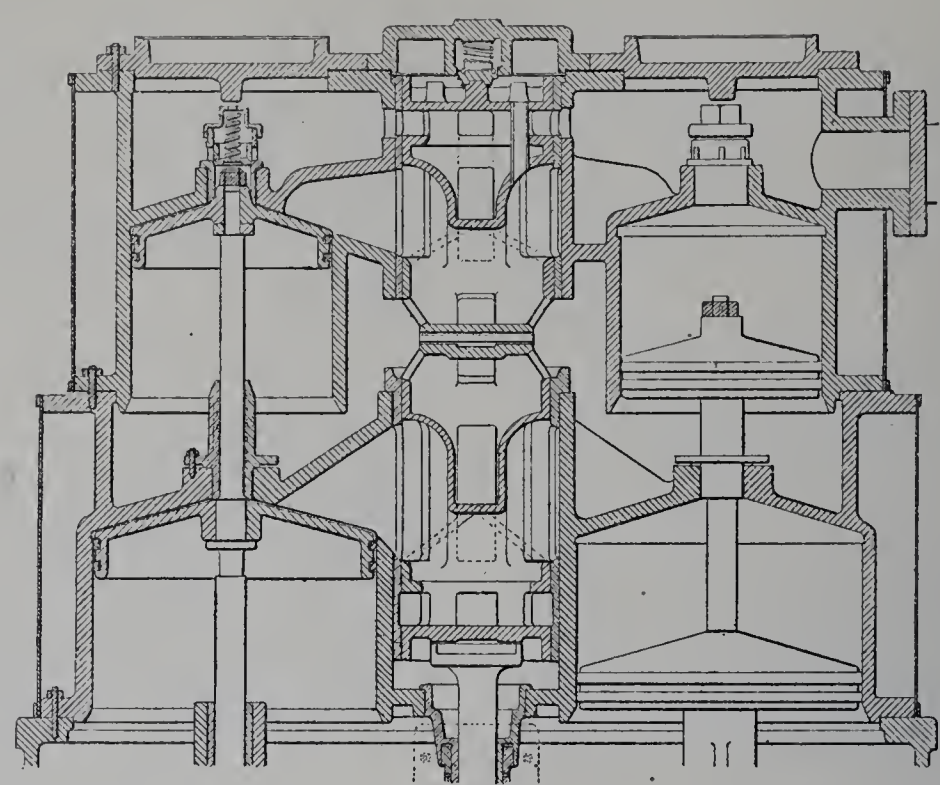


Fig. 225. — Distribution par tiroir rotatif pour moteur compound à simple effet. (Système Carels.)

Au lieu d'un tiroir, simple ou double, animé d'un mouvement de va-et-vient, on peut employer comme organe distributeur un robinet à rotation continue, monté sur un axe parallèle au cylindre et ayant même vitesse angulaire que l'arbre de la machine. Dans ce système, comme dans celui du tiroir à déplacement rectiligne, un seul organe suffit

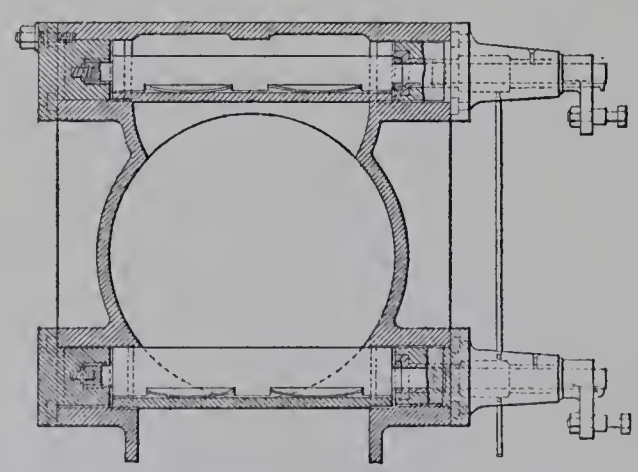


Fig. 226. — Tiroirs d'admission et d'échappement, système Corliss. (E. Garnier et Faure-Beaulieu.)

Fig. 227. — Distribution Corliss; disposition d'un tiroir d'admission. (H. Bollinckx.)

aux fonctions de la distribution; on peut même juxtaposer deux machines jumelles agissant sur des manivelles en opposition et charger de toute la distribution un tiroir rotatif placé entre elles, la situation de ce tiroir par rapport à celle de droite se trouvant exactement reproduite pour celle de gauche après une rotation de 180 degrés. Le

mécanisme de commande se réduit à un engrenage d'angle; la suppression de toute articulation, de toute alternance d'efforts lui assure une régularité et une douceur séduisantes pour les moteurs à grande vitesse. La difficulté est d'établir le robinet de manière à n'avoir ni fuite, ni grippement. Les figures 222 à 224 montrent l'intéressante distribution de ce genre présentée par MM. Sulzer frères; l'admission est variable suivant que le régulateur relève ou abaisse la suspension d'un manchon intérieur qui joue le rôle de tiroir de détente par rapport au tiroir tournant. La figure 225 représente la distribution à simple effet, système Carels, adoptée par la Société anonyme des moteurs à grande vitesse de Sclessin.

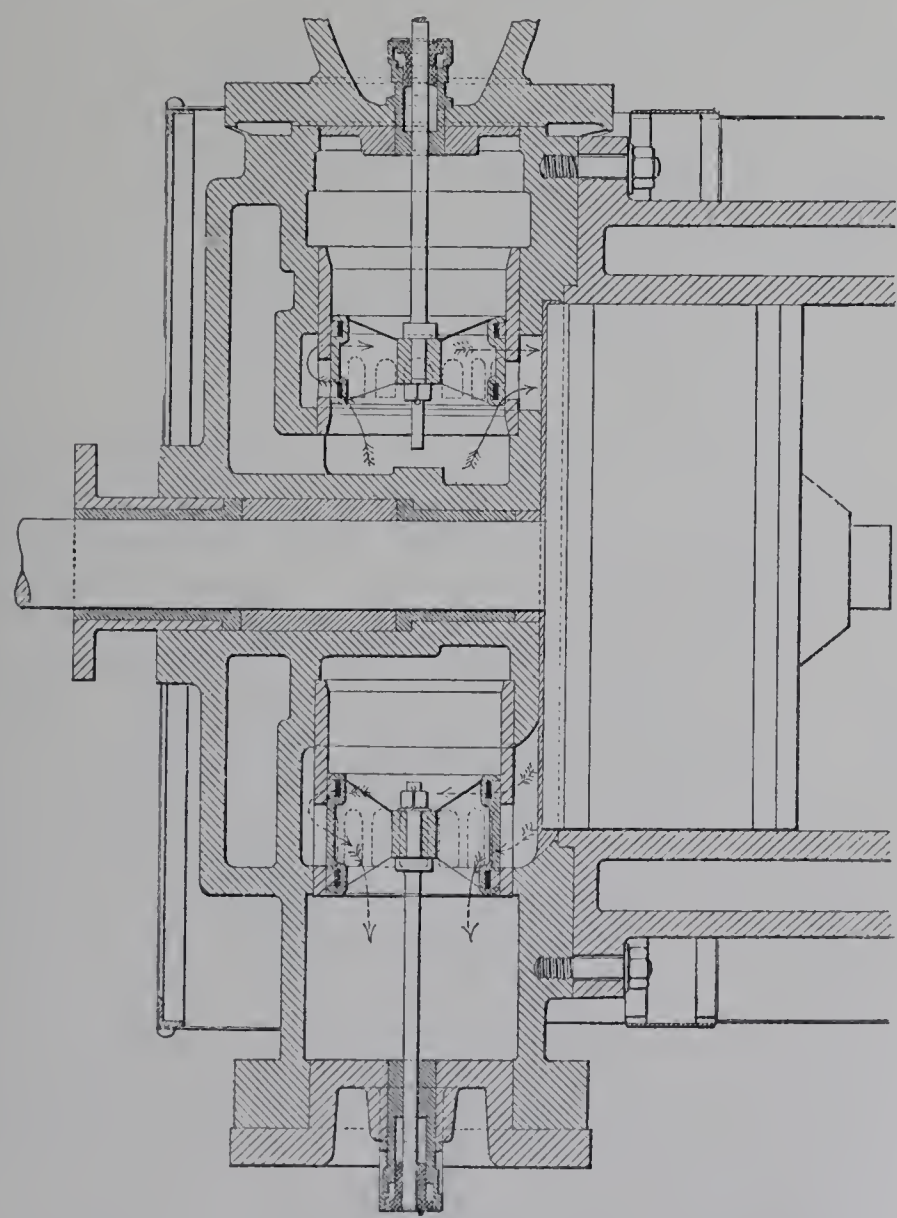


Fig. 228. — Tiroirs cylindriques d'admission et d'échappement.
(Société des établissements van den Kerchove.)

Sur les machines puissantes à moyenne vitesse, les distributions les plus généralement employées sont celles qui comportent des lumières distinctes pour l'admission et pour l'échappement, avec quatre obturateurs par cylindre. La simplification du rôle de chaque organe donne toute liberté pour le choisir, le placer et le gouverner au mieux de sa fonction. Les obturateurs peuvent être glissants ou levants.

L'obturateur glissant le plus usité est le robinet oscillant, dont la figure 226 rappelle

l'une des dispositions : les détails varient, mais c'est toujours le tiroir Corliss. Il permet de réduire les espaces morts à une valeur tout à fait minime. Ce mérite, particulièrement important pour l'emploi de la haute pression lorsqu'on cherche à ne pas multiplier les cylindres successifs, se trouve porté à son plus haut degré par d'ingénieux détails de construction. Tel est celui qui consiste à faire saillir les tiroirs d'échappement à l'intérieur du cylindre lorsqu'ils démasquent leurs lumières, pour ne s'éclipser que lorsqu'ils les referment à l'approche du piston. Comme le tiroir plan, l'obturateur Corliss est constamment appliqué et rodé sur sa glace par la différence des pressions, ce qui le rend étanche et relativement facile à bien construire; on doit avoir soin de ménager à la partie frottante la liberté de porter toujours d'aplomb (fig. 227). Ayant, comme tous les tiroirs, la faculté de prolonger son excursion au delà de la position qui produit la fermeture de la lumière, il oscille sans le moindre choc, du moins lorsqu'il est conduit par un mécanisme à liaisons complètes.

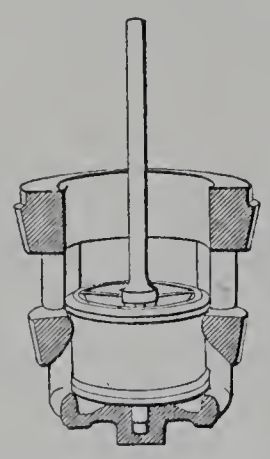


Fig. 229. — Soupape d'admission à double siège, système Sulzer.

On a souvent essayé de lui substituer d'autres obturateurs glissants, par exemple des tiroirs plans à grille. Quelques constructeurs conservent ce type pour l'échappement.

MM. van den Kerchove ont récemment adopté des tiroirs cylindriques (fig. 228). On a ainsi des distributeurs qui se construisent comme des pistons, oscillent sans choc comme des tiroirs, et que leurs emplacements sur la machine et la direction de leur mouvement permettent de commander comme des soupapes.

Les obturateurs levants sont les soupapes équilibrées. Elles sont à deux sièges (fig. 229 et 230) ou parfois même à quatre sièges (fig. 231 et 232). Une construction de premier ordre est nécessaire pour que la soupape prenne simultanément sur plusieurs zones d'appui un contact totalement étanche quelle que soit la température; il convient que la soupape et la lanterne soient faites non seulement d'une même qualité, mais d'une même coulée de métal (afin d'avoir un coefficient de dilatation identique) et qu'elles soient travaillées dans la perfection. D'ailleurs, une fois ces conditions remplies, on est en possession d'un obturateur qui obéit à la commande de transmissions légères, offre à la vapeur un large passage pour une faible levée, grâce à la double ou à la quadruple ouverture, bat doucement sur son siège et s'use peu. On s'explique donc à la fois que cet organe de distribution n'ait été employé que dans des cas spéciaux jusqu'à ce que MM. Sulzer frères en aient rendu l'exécution parfaite et que, dès lors, l'usage s'en soit largement répandu dans toute la partie de l'Europe où ces éminents constructeurs ont porté leur action ou fait apprécier leur exemple.

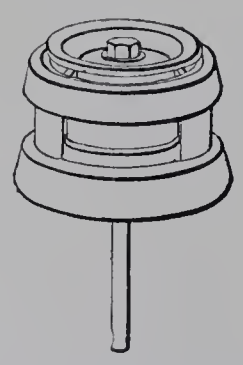


Fig. 230. — Soupape d'échappement à double siège, système Sulzer.

En général, la nécessité de pouvoir introduire la soupape dans sa lanterne conduit à donner aux deux sièges, dont l'égalité rigoureuse équilibrerait exactement le système, une petite différence de diamètre; l'équilibre n'est qu'approché et le levier qui soulève

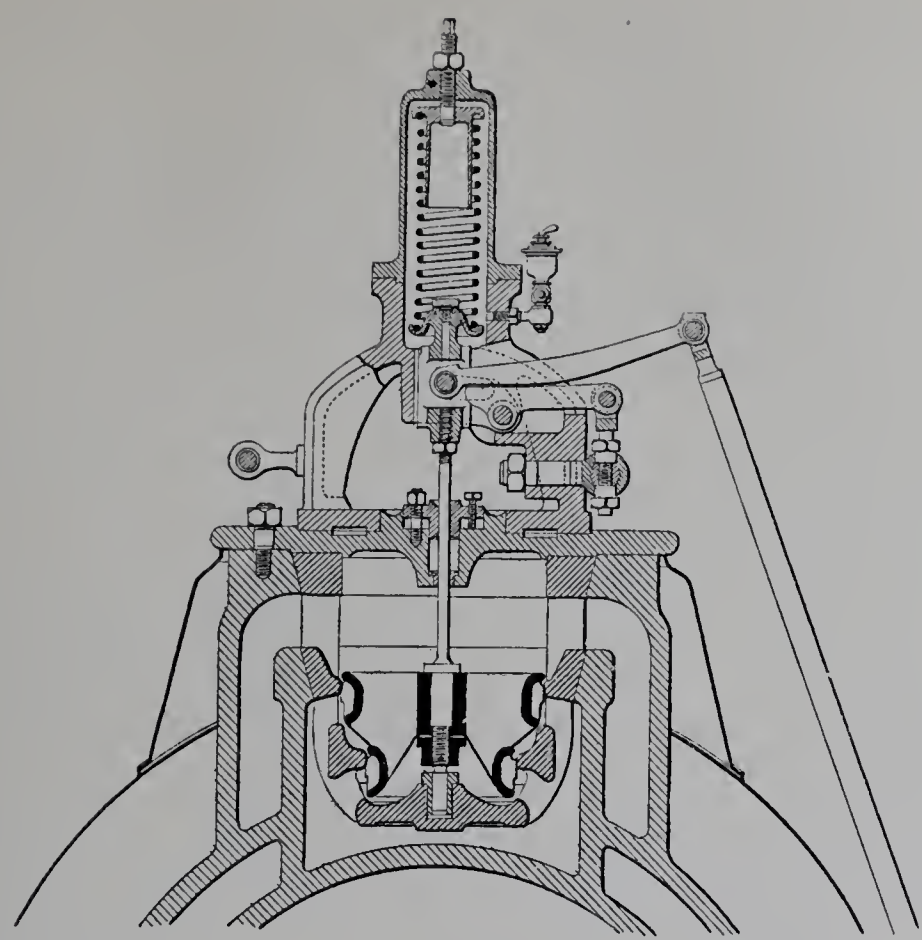


Fig. 231. — Soupape d'admission à quadruple siège, commandée par un levier roulant.
(MM. Sulzer frères.)

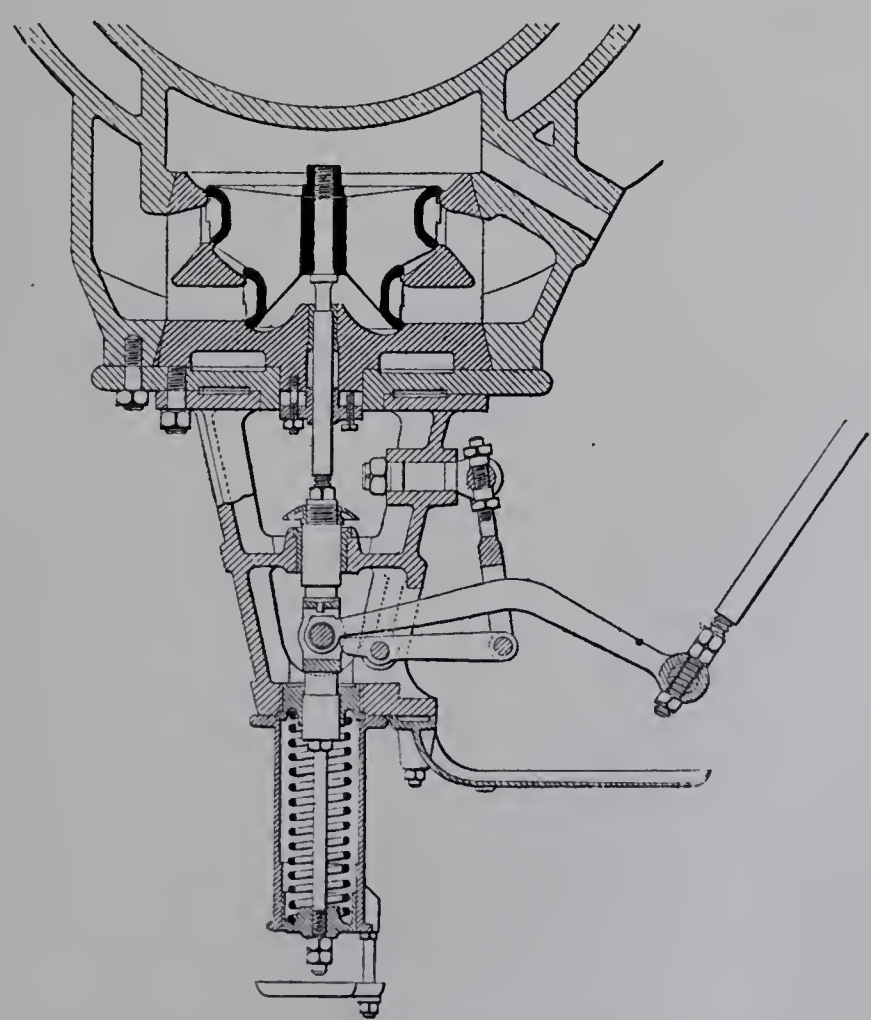


Fig. 232. — Soupape d'échappement à quadruple siège, commandée par un levier roulant.
(MM. Sulzer frères.)

IMPRIMERIE NATIONALE

la soupape doit vaincre, outre l'action du ressort antagoniste, une certaine poussée de la vapeur. On est allé plus loin : on a créé un type de soupape à double siège rigoureusement équilibrée en faisant venir d'une même pièce de fonderie la soupape et le siège supérieur; c'est en taillant la pièce pour l'amener à ses formes définitives que l'on exécute la découpure circulaire qui individualise les deux organes et leur permet de jouer l'un par rapport à l'autre, bien que restant inséparables.

La figure 233 représente cette disposition, que nous trouverons appliquée au système de distribution de M. Lentz; le tracé pointillé montre la partie destinée à former le siège, avant la découpure.

Les soupapes sont loin de se prêter, comme les tiroirs Corliss, à la réduction des espaces morts; leur emploi ne se concilie donc avec une longue expansion qu'à la condition de fractionner celle-ci entre plusieurs cylindres successifs. Par contre, elles acceptent des températures qui feraient gripper tous les distributeurs glissants; elles sont les auxiliaires indispensables de la haute surchauffe.

Dans l'établissement d'une distribution à quatre obturateurs, on a la faculté de constituer indépendamment l'un de l'autre le mécanisme d'admission et celui d'échappement. Pour l'échappement, il n'y a rien de mieux à faire que de tenir la lumière fermée pendant tout l'aller et ouverte pendant tout le retour du piston, sauf de courtes phases d'avance à l'évacuation et de compression destinées à adoucir les inversions d'efforts. Pour l'admission, le programme est plus compliqué. Tandis que l'avance à l'introduction doit conserver une petite valeur, sensiblement constante, il faut que la détente puisse varier, et quelquefois dans les limites les plus étendues. S'il s'agit d'une machine à un seul cylindre, ou du cylindre à haute pression d'une machine à expansion multiple, on veut que cette variation ait lieu automatiquement, sous l'action du régulateur de vitesse. Pour les cylindres détendeurs, on ne lui demande ordinairement pas d'être automatique, mais elle doit être aisément réglable à la main.

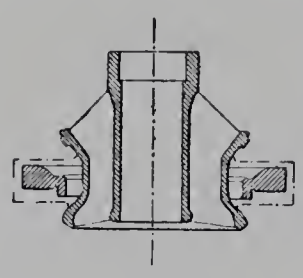


Fig. 233. — Soupape de distribution complètement équilibrée. (Société de Brünn.)

Deux classes de mécanismes sont en usage : à déclenchement ou à liaisons complètes. La commande des distributeurs d'échappement est presque toujours à liaisons complètes; nous verrons cependant quelques exceptions avec les soupapes Collmann. Pour l'admission, c'est le plus souvent l'intervention d'un déclic qui provoque le commencement de la détente; pendant longtemps, on n'a pas conçu autrement les distributions à détente variable du genre Corliss ou du genre Sulzer. Sous l'influence de l'accroissement des vitesses de rotation, d'intéressantes solutions ont été trouvées dans une voie différente. On dispose aujourd'hui, surtout pour les distributions à soupapes, de toute une variété de mécanismes à liaisons complètes réalisant la détente variable au régulateur. Ces mécanismes mettent fin à la phase d'introduction d'une manière progressive, qui arrondit le diagramme au lieu de lui donner un angle vif comme le fait le fonctionnement subit d'un déclic, mais c'est sans inconvénient.

Dans les systèmes à déclenchement, celui-ci constitue une combinaison qui se superpose, pour ainsi dire, à un mécanisme à liaisons complètes établi pour donner, s'il fonctionnait seul, une admission plus longue que le maximum dont on a besoin. Laissons donc provisoirement de côté les dispositifs de déclenchement et commençons par examiner par quels caractères généraux se distinguent les mécanismes de distribution à liaisons complètes. Ces caractères sont assez différents suivant que les obturateurs sont des tiroirs Corliss ou des soupapes Sulzer.

S'agit-il d'un cylindre à obturateurs Corliss, le mouvement de la distribution est pris sur l'arbre de la machine par un ou par deux excentriques. En principe, l'indépendance entre le mécanisme d'admission et celui d'échappement réclame deux excentriques; l'étude du détail montre qu'un seul suffit dans certains cas. Chaque excentrique fait osciller un balancier, en forme ou non de plateau circulaire, sur lequel sont articulées des bielles qui conduisent les manettes de commande des tiroirs. Ici intervient une combinaison cinématique, caractéristique du système. Tandis que l'oscillation du balancier est harmonique, celle des tiroirs ne l'est pas, au moins s'il s'agit des tiroirs d'échappement. Elle est réglée de manière que l'obturateur reste à peu près immobile pendant la fermeture de la lumière, tout en produisant une ouverture complète et rapide de celle-ci. On profite, à cet effet, de ce que les déplacements angulaires du balancier et du tiroir sont dans un rapport variable, qui n'est autre que le rapport des distances de chacune des extrémités de la bielle à son centre instantané de rotation. En particulier, la vitesse de l'obturateur passe par zéro lorsque la direction de la bielle coupe l'axe du balancier. C'est alors que le tiroir atteint son maximum de recouvrement.

De l'arbre moteur aux organes de distribution, toute la transmission, dans ce système, est obtenue au moyen de bielles. Pour les appareils de grandes dimensions, cette disposition entraîne parfois une certaine lourdeur d'attirail. Elle s'adapte d'ailleurs aussi bien aux moteurs verticaux qu'aux moteurs horizontaux.

Dans les distributions par soupapes, le mécanisme à liaisons complètes n'a toute la simplicité et l'élégance dont il est susceptible que si la machine est horizontale. En ce cas, la commande de la distribution est prise sur un arbre parallèle au cylindre et tournant à la même vitesse que l'arbre moteur, auquel il emprunte son mouvement au moyen d'un engrenage d'angle. Au droit de chaque soupape, l'arbre de distribution porte une came ou un excentrique qui, par l'intermédiaire d'une bielle, conduit un levier oscillant installé à proximité de la tige de la soupape. Ce levier soulève la tige, puis la laisse redescendre; il poursuit son mouvement de retour quelque peu au delà de la position qui a replacé l'obturateur sur son siège, après quoi il vient de nouveau attaquer la tige à l'oscillation suivante. Si le mouvement est donné par une came, le profil de celle-ci comprend deux parties circulaires d'inégal rayon, correspondant l'une à l'ouverture complète, l'autre à la complète fermeture, et raccordées par des lignes qui doivent convenir à la forme du galet et assurer à la soupape une montée et une descente rapides sans brutalité. Si l'on emploie un excentrique circulaire, d'ingénieuses dispositions cinématiques peuvent intervenir pour imprimer au levier un mouvement

différent de l'oscillation harmonique et pour concilier, d'une manière aussi parfaite que possible, une levée ample et prompte de la soupape avec un fonctionnement doux de l'ensemble du mécanisme. L'un de ces artifices, d'une remarquable élégance, est l'emploi du levier roulant : les figures 231 et 232 en montrent le principe. D'autres fois on emploie un levier formant came et agissant par son bord, soit sur un second levier lié à la tige de soupape, soit même directement sur un galet disposé dans l'axe de celle-ci. Ce dernier système est celui de la distribution Lentz.

On peut encore, tout en prenant sur l'arbre de distribution un mouvement circulaire, le transformer en mettant à profit les propriétés générales d'un système articulé dont un point décrit un cercle, dont un autre point est assujetti à aller et venir le long d'une certaine ligne, et dont cette liaison réduit à 1 le degré de liberté. Chacun des autres points du système prend un mouvement déterminé, qui change si l'on vient à modifier la susdite liaison. Le point décrivant un cercle est un collier d'excentrique qui forme l'une des extrémités d'une courte barre, guidée en un autre de ses points par l'ensemble des liaisons du système. C'est sur cette barre, ou sur une autre pièce du système articulé, qu'est pris le mouvement de la bielle qui va actionner le levier de soupape. La liaison variable, permettant de modifier la distribution, résulte soit de la position donnée au point d'attache d'une biellette ou à l'axe d'un balancier, soit de la suspension d'une articulation, comme dans le système Proell (fig. 234), soit encore, comme dans le système Radovanovicz (fig. 235 et 236), de l'orientation d'une coulisse portée par la barre et glissant sur un coulisseau fixe.

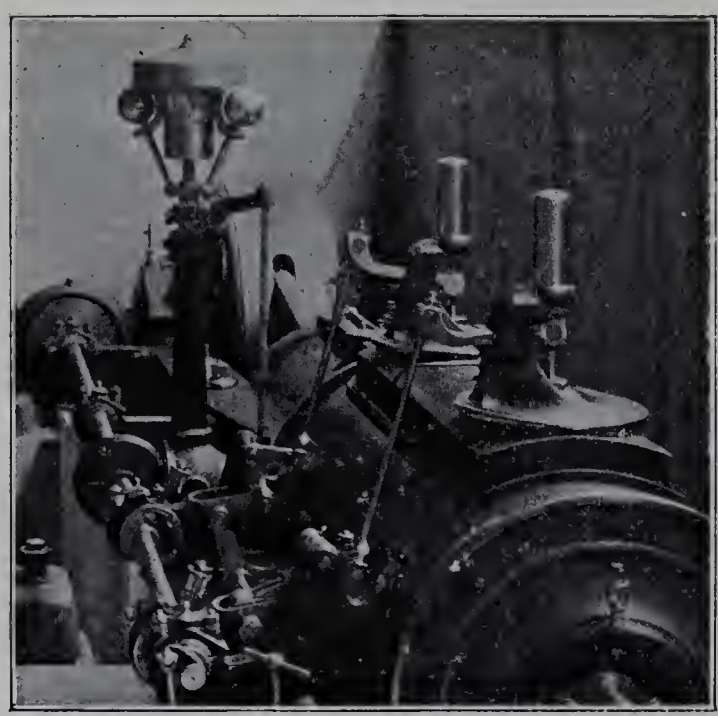


Fig. 234. — Distribution Proell. (MM. Maerky, Bromovski et Schulz.)

En principe, l'arbre de distribution doit porter deux pièces d'attaque, cames ou excentriques, au droit de chaque extrémité de cylindre : l'une de ces pièces sert pour la soupape d'admission, l'autre pour celle d'échappement. Les deux commandes sont ainsi totalement indépendantes. Toutefois, un seul excentrique suffit lorsqu'il est possible de prendre sur la barre de cet excentrique des trajectoires convenables, comme forme et comme phase, pour chacune des deux commandes. C'est ainsi que, sur la figure 235, on voit partir de la barre à mouvement variable deux bielles, l'une montante, l'autre descendante, qui vont actionner respectivement les deux soupapes. La première, articulée sur l'extrémité de la barre, prend un mouvement largement variable suivant l'orientation donnée à la coulisse par le coulisseau : les courbes en pointillé permettent d'en juger. (C'est en s'élevant que la bielle de commande produit l'ouverture de la soupape,

attendu qu'elle agit par l'intermédiaire de deux leviers dont le premier forme came par rapport au second, ce qui produit une double inversion). La bielle descendante, qui actionne la soupape d'échappement, prend son mouvement sur un point de la barre tout voisin du collier d'excentrique et dont l'orbite varie peu.

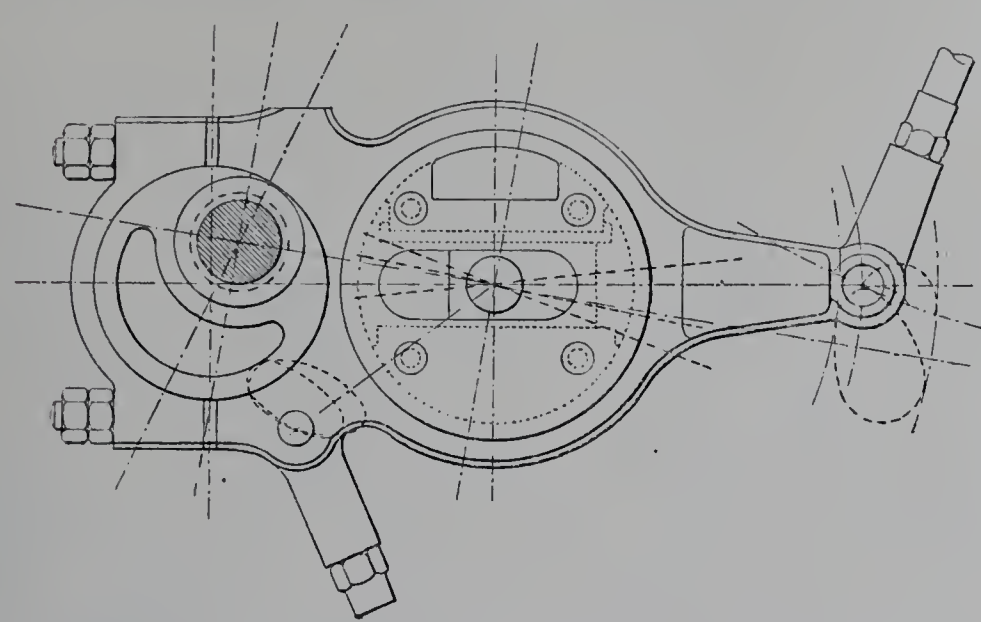


Fig. 235. — Barre à mouvement variable. (Distribution Radovanovicz.)

Le principe des arrangements cinématiques est analogue dans la machine Bromley ; seulement, au lieu d'une coulisse, la pièce de liaison qui guide la barre *ll* (fig. 237)

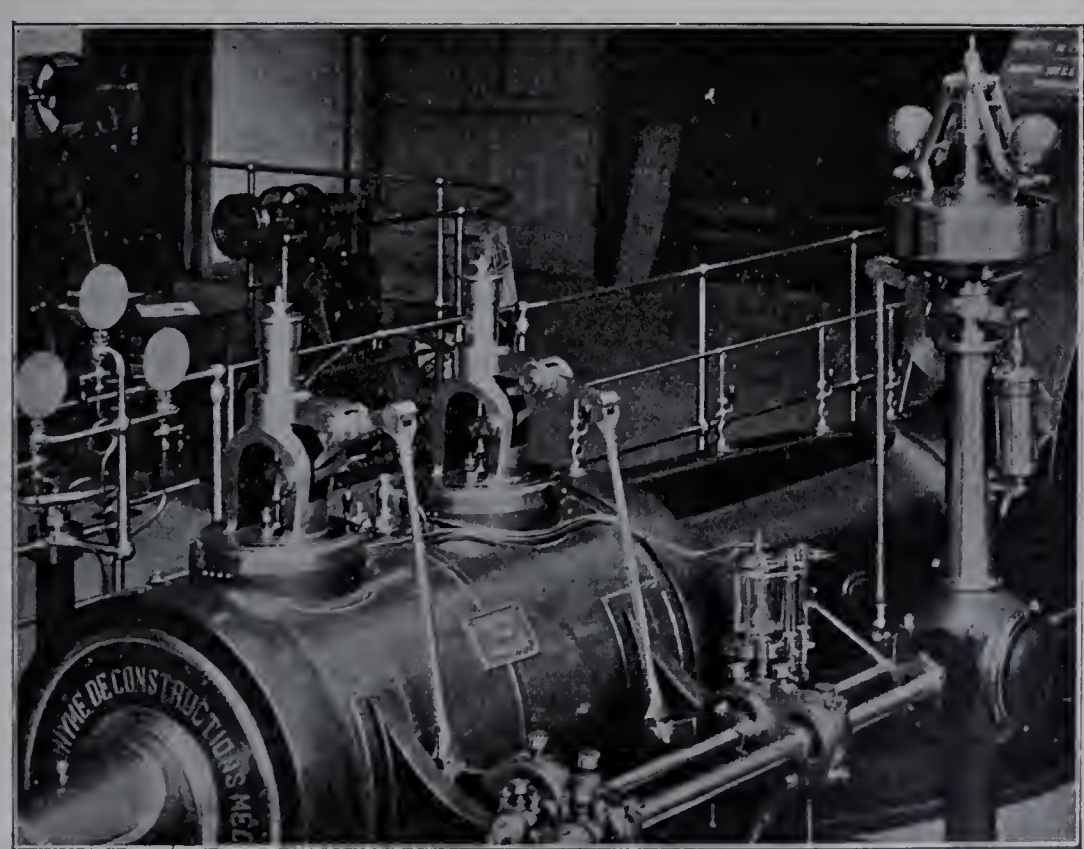


Fig. 236. — Distribution Radovanovicz. (Société anonyme de Prague pour la construction des machines.)

est une biellette *r* oscillant autour d'un tourillon *g*. Celui-ci est susceptible d'occuper diverses positions, étant porté par l'une des extrémités d'un levier coudé BB claveté sur un arbre G dont l'orientation est variable. On a figuré sur le dessin la trajectoire de

l'articulation *f* pour cinq positions de *g*, ainsi que les trajectoires correspondantes des points *v* et *p* où sont attelées les bielles de commande des soupapes d'admission et d'échappement.

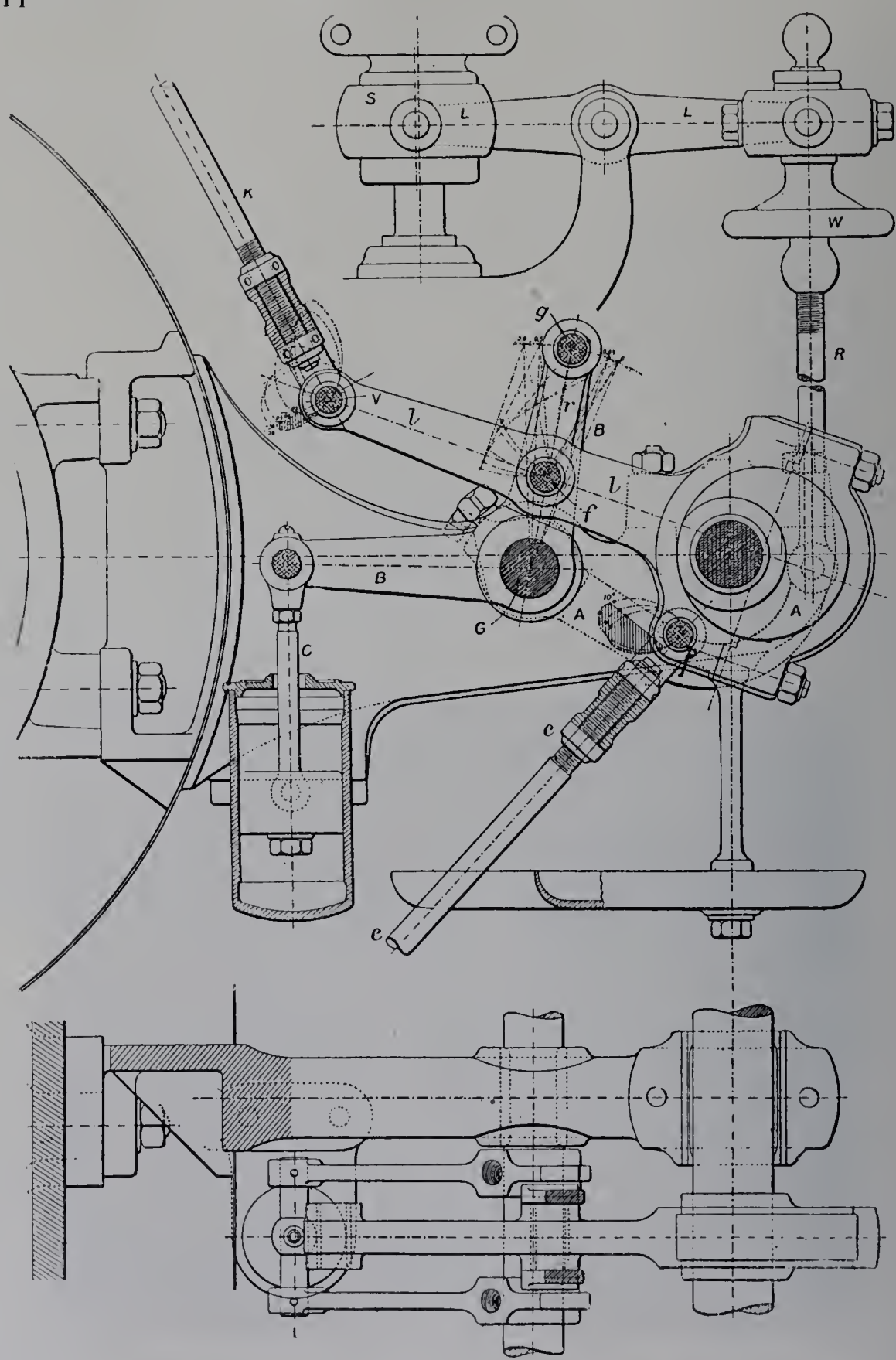


Fig. 237. — Mécanisme de distribution à liaisons complètes. (MM. Bromley frères.)

Il ressort de toutes les explications précédentes qu'une distribution à liaisons complètes suffit dans beaucoup de cas pour rendre la détente variable sous l'action du régulateur. Dans le système Corliss, pourvu que l'admission et l'échappement soient com-

mandés par des excentriques distincts, on peut faire varier automatiquement la durée de l'introduction en ayant, pour l'admission, un excentrique à calage variable ; si la

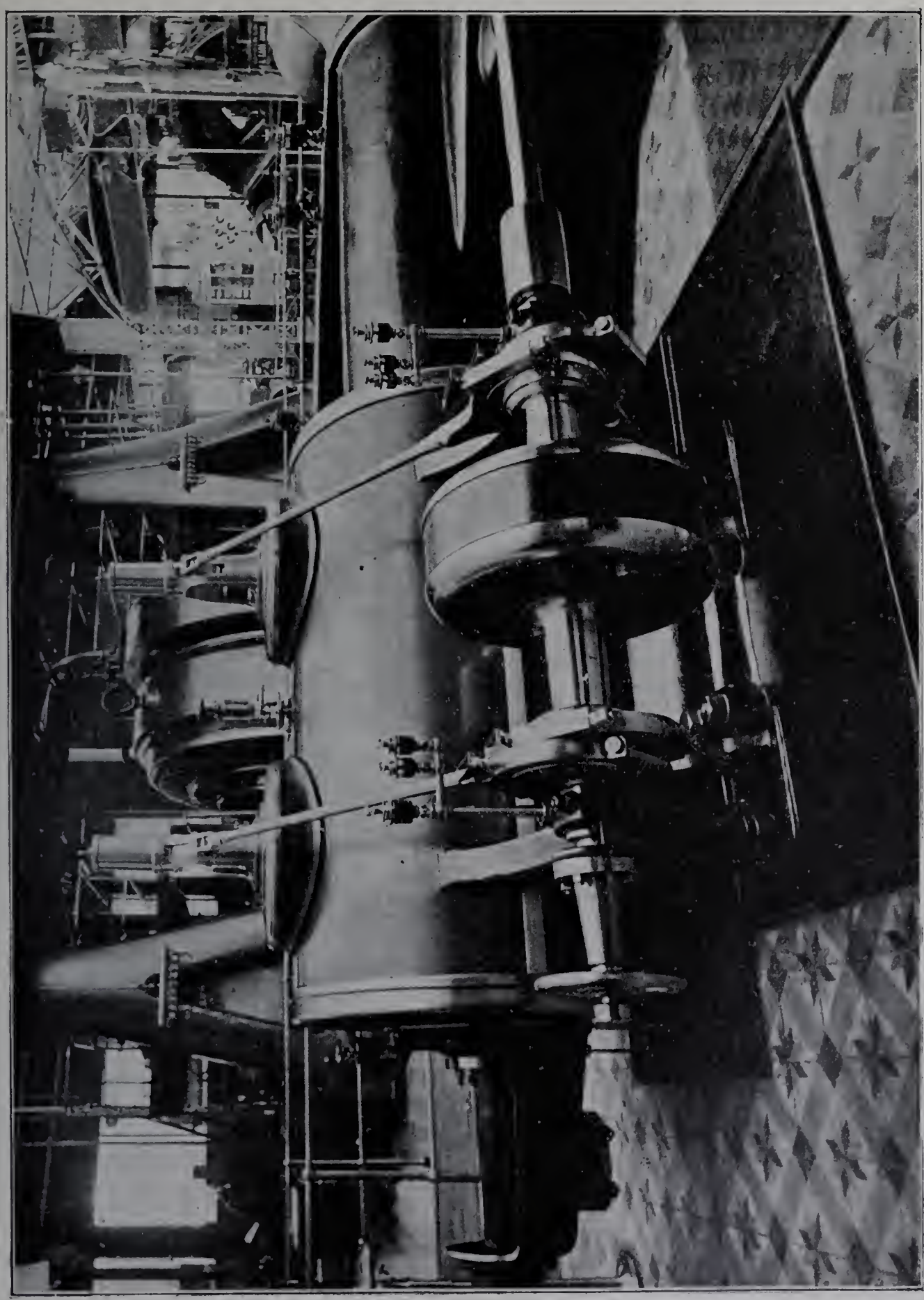


Fig. 238. — Distribution Hugo Lentz et Voit. (Première Société de Brünn pour la construction de machines.)

machine doit tourner assez vite, il est aisé de placer celui-ci sous la dépendance immédiate d'un régulateur-volant : nous verrons cette disposition employée par MM. Garnier

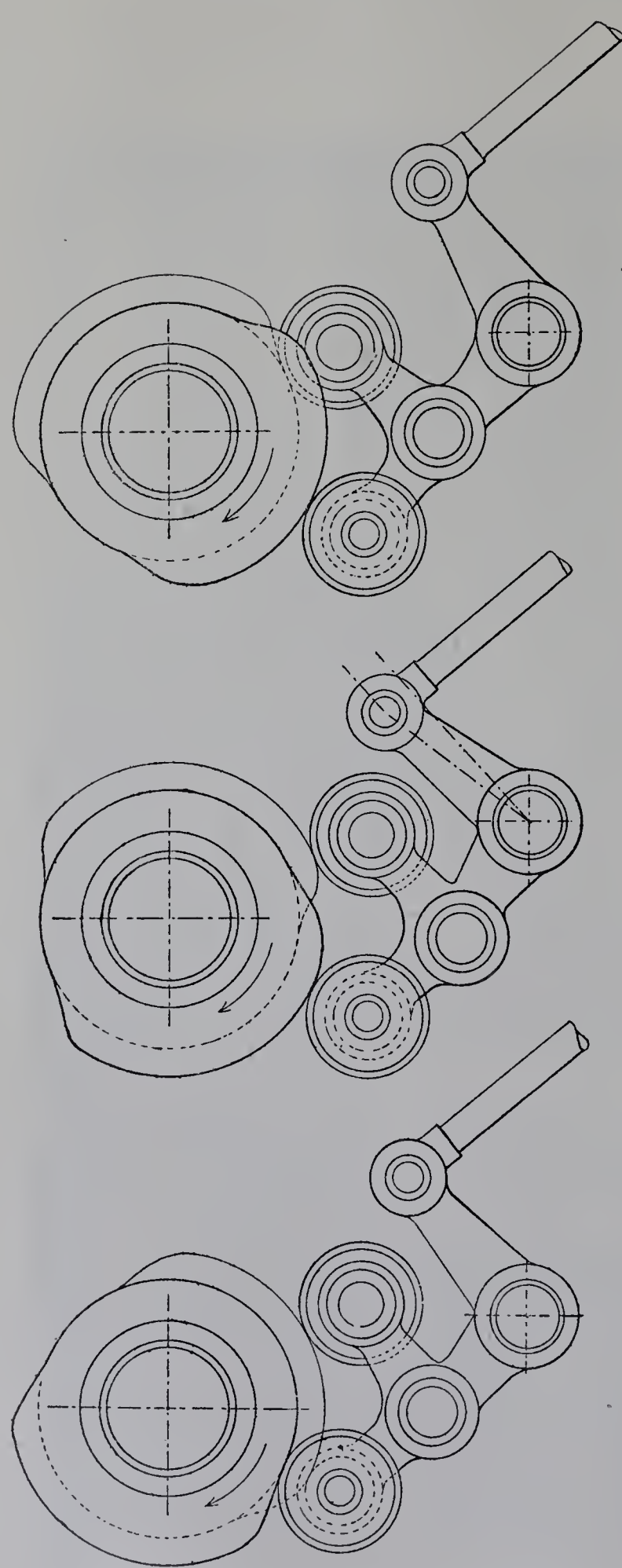


Fig. 239. — Distribution Knoller.
(Société pour la construction de machines, ci-devant Brand et Lhuillier.)

et Faure-Beaulieu. Dans les distributions à soupapes, lorsque la vitesse de rotation s'y prête, l'emploi d'un régulateur à axe horizontal tournant à la vitesse de la machine conduit aussi à des solutions remarquablement élégantes, ce régulateur prenant place sur l'arbre de distribution et gouvernant le calage des excentriques ou des cames d'admission. C'est ainsi que dans le système Lentz, où les soupapes sont manœuvrées presque sans effort par des leviers-cames, les bielles qui conduisent les leviers des soupapes d'admission sont simplement gouvernées par des excentriques circulaires placés de part et d'autre d'un régulateur en forme de tambour (fig. 238). Dans le système Knoller, pour chacune des soupapes d'admission, le mouvement de la bielle de commande est pris par une sorte de chariot articulé roulant sur deux cames, suivant la disposition que la figure 239 fait comprendre; l'une des cames est fixe, l'autre est à calage variable et solidaire du régulateur directement monté sur l'arbre de distribution.

Enfin, quand le mouvement est donné aux soupapes par un système articulé dont la loi cinématique dépend de la suspension d'une articulation oscillante ou de l'orientation d'une coulisse, comme dans les systèmes Proell, Recke, Widnmann, Radovanovicz, Hartung, Kœnig et autres, rien de plus simple que de lier la variable à un régulateur de vitesse établi suivant l'un quelconque

des types classiques. Toutefois une condition essentielle est que le système à liaisons soit dessiné et construit de manière à n'exercer sur le manchon du régulateur aucune réaction sensible, notamment lors du soulèvement de la soupape : cette condition n'est pas toujours remplie avec une égale perfection.

Le procédé le plus ancien et le plus généralement usité sur les machines à vitesse moyenne, pour mettre fin à la phase d'admission, consiste dans l'intervention brusque d'un déclic. Ce procédé est appliqué aussi, quoique beaucoup plus rarement, au mécanisme d'échappement, pour mettre fin à l'évacuation et déterminer le commencement de la compression. Qu'il s'agisse d'obturateurs glissants ou de soupapes, le principe admet une variété de dispositifs où l'ingéniosité des inventeurs s'est amplement donné carrière ; mais les principes peuvent se ramener à un petit nombre. L'obturateur étant toujours sollicité de se refermer par un ressort ou par un rappel pneumatique, le mécanisme qui le déplace dans le sens de l'ouverture comprend deux touches, dont l'une pousse l'autre. Le déclenchement se produit si un déplacement relatif des deux touches, perpendiculaire à la direction commune de leur mouvement principal, modifie leur situation de telle manière que la touche menée échappe à la touche menante. Deux moyens principaux s'offrent pour réaliser ce déplacement relatif et provoquer l'échappement.

L'un consiste à ne pas rendre la touche menante invariablement solidaire du mécanisme à liaisons complètes, mais à la placer sur une pièce articulée formant cliquet ou bascule. Au cours de l'ouverture du tiroir ou de la soupape, il suffit que la bascule se touve inclinée ou le cliquet soulevé, par la rencontre d'un butoir immobile, pour que l'échappement s'ensuive. C'est la position de ce butoir qui est placée sous la dépendance du régulateur ; il est facile de réduire autant qu'il est nécessaire la réaction du contact.

Ce système, simple et commode, ne se prête pas également à tous les degrés d'introduction, attendu que c'est nécessairement pendant l'ouverture de la lumière que la pièce basculante rencontre le butoir, à moins de ne pas le rencontrer du tout. Or la phase d'introduction, telle que la donne le mécanisme à liaisons complètes, comprend d'abord un temps pendant lequel la lumière s'ouvre, puis un deuxième temps pendant lequel elle se referme progressivement. Si le premier temps prend fin, par exemple, lorsque le piston a parcouru 30 p. 100 de sa course, le système du déclic, tel que nous venons de le définir, permet de faire varier le degré d'introduction depuis zéro jusqu'à trois dixièmes, mais non au delà. C'est ce qui arrive avec les anciennes distributions du genre Corliss. Pour obtenir, s'il est nécessaire, un champ de variation plus étendu, tout en conservant le système du butoir immobile, quelques constructeurs ajoutent un dispositif spécial, tel qu'un doigt articulé qui s'efface pendant le mouvement d'ouverture de la lumière et qui, pendant le retour, reste saillant et vient rencontrer la pièce dépendant du régulateur, quand celle-ci occupe certaines positions. La figure 240 rappelle cette solution, appliquée par MM. Garnier et Faure-Beaulieu à la distribution Corliss classique, dite *à lames de sabre*. Nous trouvons le même artifice employé sur la machine de MM. Farcot : seulement la bascule de la figure 240, portée au sommet d'un balancier qui lui imprime un mouvement de va-et-vient quasiment rectiligne,

est remplacée dans la distribution Corliss-Farcot (fig. 241) par un cliquet porté par une pièce oscillante à mouvement circulaire, co-axiale au distributeur, et tout le mécanisme de déclenchement participe du même caractère.

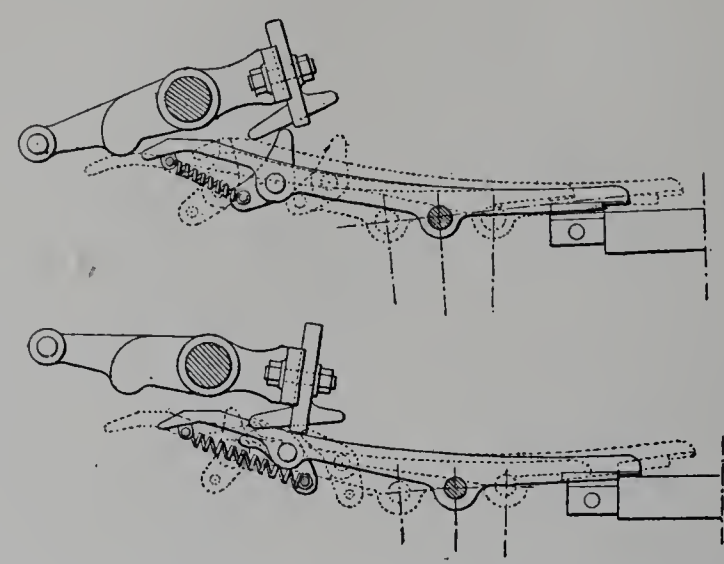


Fig. 240. — Détente par déclic sur la distribution Corliss à lames de sabre. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.)

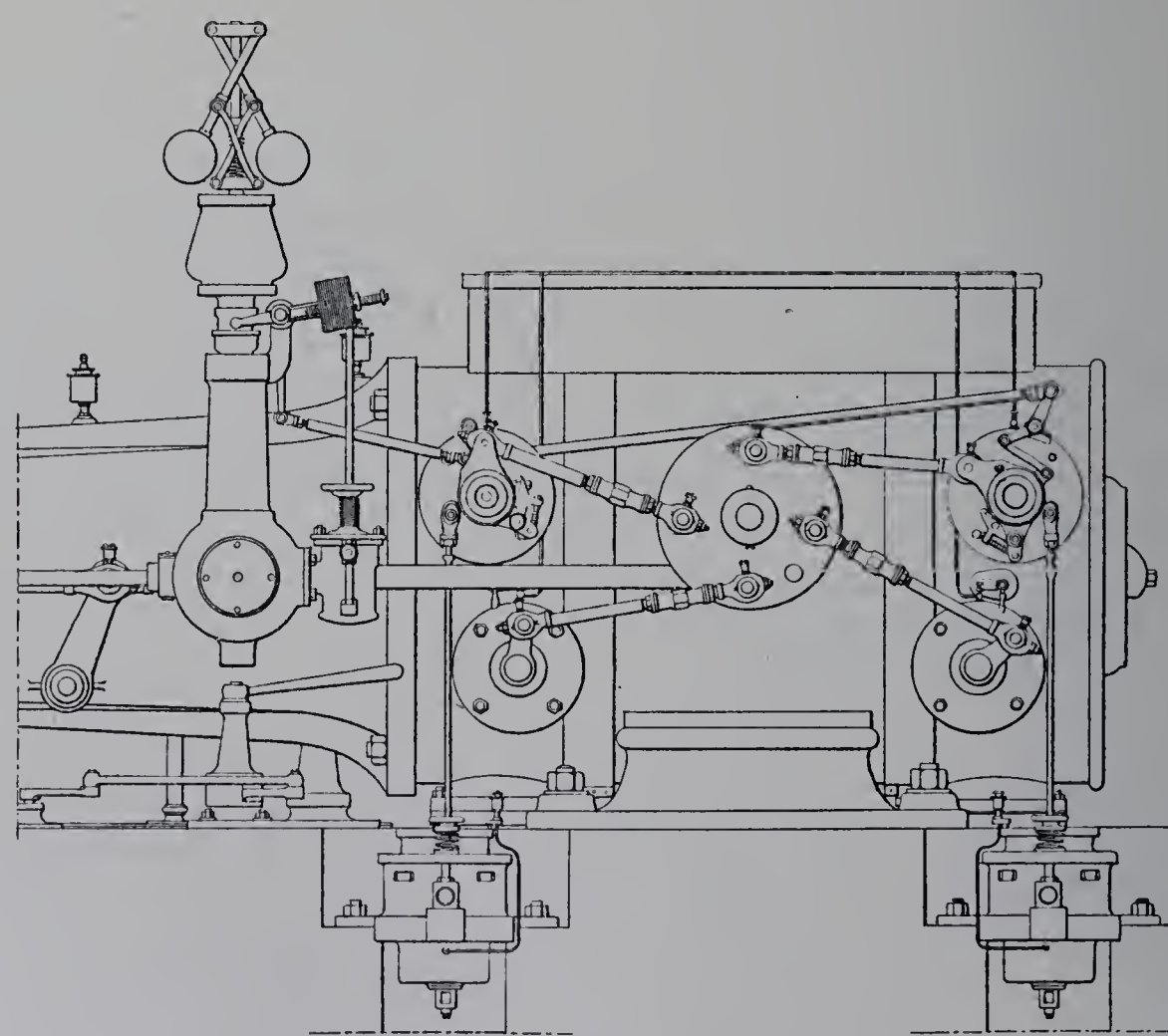


Fig. 241. — Distribution Corliss-Farcot.

Un autre moyen de se rendre entièrement maître de l'instant du déclenchement consiste à employer, non un butoir immobile, mais un butoir animé lui-même d'un mouvement d'oscillation ; la phase et l'amplitude de ce mouvement auxiliaire sont réglées de

manière que le butoir vienne à point nommé faire jouer le déclic : la machine Dujardin, par exemple, nous montrera un exemple de cette élégante solution.

Si le mécanisme à liaisons complètes est combiné de manière à faire durer l'ouverture de l'obturateur plus que sa fermeture, le système du déclenchement par rencontre d'un butoir immobile se prête, sans complication aucune, à des admissions d'autant plus longues que le premier temps est plus prolongé. C'est ainsi que sont souvent combinées les distributions à soupapes. La figure 242 montre, par exemple, le déclic simple appliqué à une soupape d'admission du type Collmann. Toutefois, sur la machine de M. Ringhoffer, d'où cet exemple est tiré, les soupapes d'échappement elles-mêmes sont à déclenchement; pour celles-ci, il est nécessaire qu'un artifice spécial intervienne, car la phase de compression est trop courte pour que l'on puisse prolonger jusqu'au commencement de cette phase le mouvement de levée de la soupape. L'artifice analogue à celui que nous venons d'indiquer comme applicable aux distributions du genre Corliss, consiste (fig. 243) à ne pas laisser le butoir immobile, mais à lui imprimer au moyen d'une commande spéciale un mouvement d'oscillation, de manière qu'il s'efface hors de la portée du cliquet pendant l'ascension de celui-ci et vienne agir sur lui au cours de sa descente.

Nous avons dit qu'on avait le choix de deux méthodes pour produire, entre la touche menante et la touche menée d'un mécanisme à déclenchement, le déplacement transversal qui fait échapper celle-ci à la poussée de celle-là. Dans l'une de ces méthodes, la touche menante est douée d'une certaine liberté par rapport au mécanisme à liaisons complètes, grâce à l'emploi d'une bascule ou d'un cliquet, comme nous venons de le voir. Dans l'autre, chacune des deux touches a un mouvement complètement déterminé. Mais, tandis que la touche menée est assujettie à aller et venir le long d'une ligne (généralement un arc de cercle) qui est la même au retour qu'à l'aller, la touche menante décrit d'un mouvement continu une courbe fermée. Il résulte de là que le recouvrement des deux touches, pendant que l'une pousse l'autre, va se modifiant. Il arrive un instant où elles se trouvent bord à bord : c'est quand la trajectoire orbiculaire du bord de la touche menante coupe la trajectoire alternative du bord de la touche menée. Aussitôt après, l'échappement se produit; la touche menée est vivement rappelée au point de départ de son excursion. La touche menante continue de décrire son orbite et vient, comme par une manœuvre tournante, reprendre doucement l'autre touche pour la pousser de nouveau. A cette partie de l'orbite correspondrait géométriquement la seconde intersection des deux trajectoires; mais l'excursion de la touche menée est limitée en avant de ce point, de manière que l'autre soit libre d'achever son mouvement de retour et de ne reprendre contact avec elle qu'au début du mouvement d'aller.

L'intersection effective, c'est-à-dire celle qui détermine le déclenchement, peut se trouver aussi bien sur la partie de l'orbite correspondant au retour qu'à l'aller, de telle sorte que ce système permet de faire varier la détente entre des limites quelconques sans complication particulière.

Pour produire la variation de la détente, on peut modifier l'une ou l'autre des deux

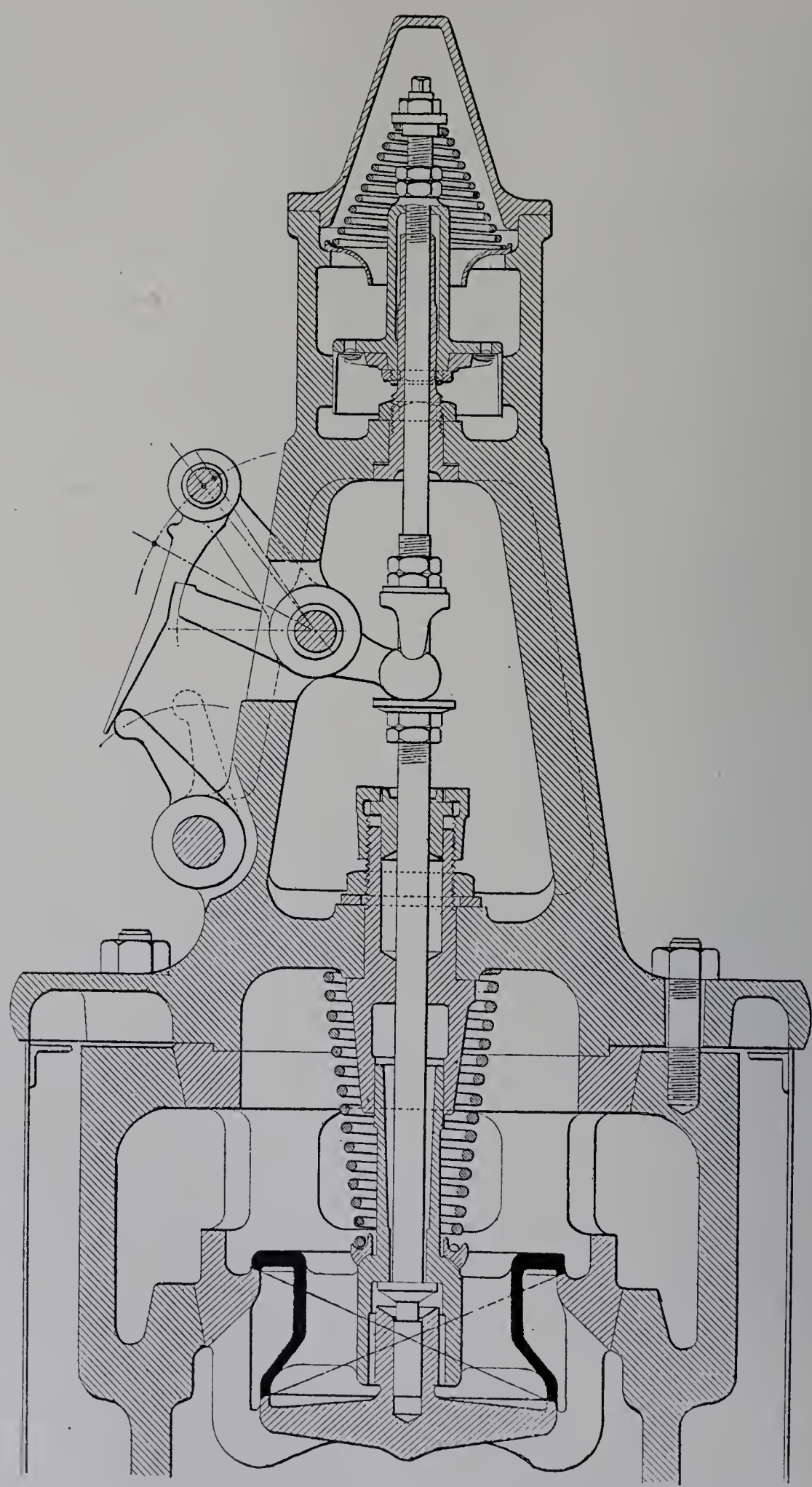


Fig. 242. — Soupape d'admission Collmann, avec commande à déclic. (M. Ringhoffer.)

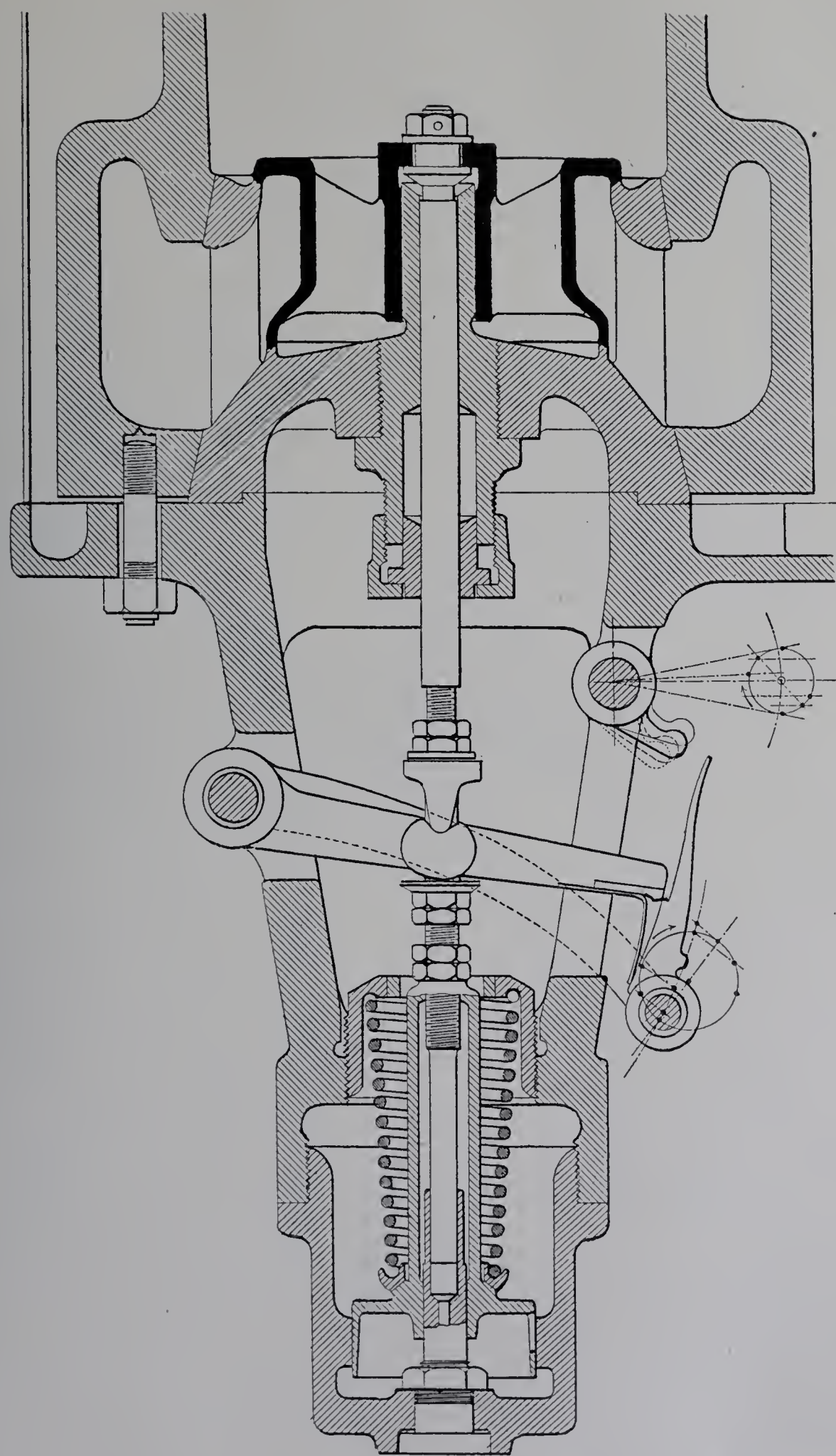


Fig. 243. — Soupape d'échappement Collmann, avec commande à déclic. (M. Ringhoffer.)

trajectoires. Dans les anciennes distributions Sulzer, l'orbite de la touche menante était toujours la même et c'était l'arc de cercle suivant lequel la touche menée était assujettie à se mouvoir qui subissait un déplacement lorsqu'on avançait ou reculait le point fixe de la biellette formant liaison. Dans les distributions récentes, c'est plus souvent l'arc décrit par la touche menée qui reste invariable et la trajectoire orbiculaire de la touche menante que l'on rend susceptible de déformation. A cet effet, cette trajectoire résulte de la composition de deux oscillations sensiblement perpendiculaires. La première donnerait, si elle intervenait seule, la distribution à longue admission; elle a lieu suivant une ligne parallèle à la trajectoire de la touche menée. La seconde oscillation produit le déplacement transversal qui fait varier le recouvrement des deux touches, les laisse échapper l'une à l'autre et les ramène en contact. C'est sur la phase et l'amplitude de l'oscillation transversale qu'influe le dispositif de réglage. Le mouvement spécial qui détermine cette oscillation est obtenu par des moyens divers. Dans les distributions à tiroirs Corliss, il est pris assez souvent sur un excentrique ou un plateau à manivelle juxtaposé au régulateur : nous verrons des exemples de cette solution sur la machine Weyher et Richemond à distribution L. David, sur la machine de la Société Escher Wyss, etc. Dans les distributions à soupapes, il peut être emprunté au même collier d'excentrique que l'oscillation principale, pourvu que ce soit sur un autre point de la circonférence du collier, de manière à obtenir la différence de phase convenable : c'est l'arrangement moderne des distributions Sulzer; ou bien il peut être demandé à une autre pièce tournante, came ou excentrique. Sur la machine Tosi, il est donné par la même came et le même galet que la manœuvre de la soupape d'échappement (fig. 244 et 245); on a en effet toute liberté pour profiler cette came de la manière qui convient aux deux fonctions, car celles-ci ne sont que successives, la soupape d'échappement ayant à rester fermée tant

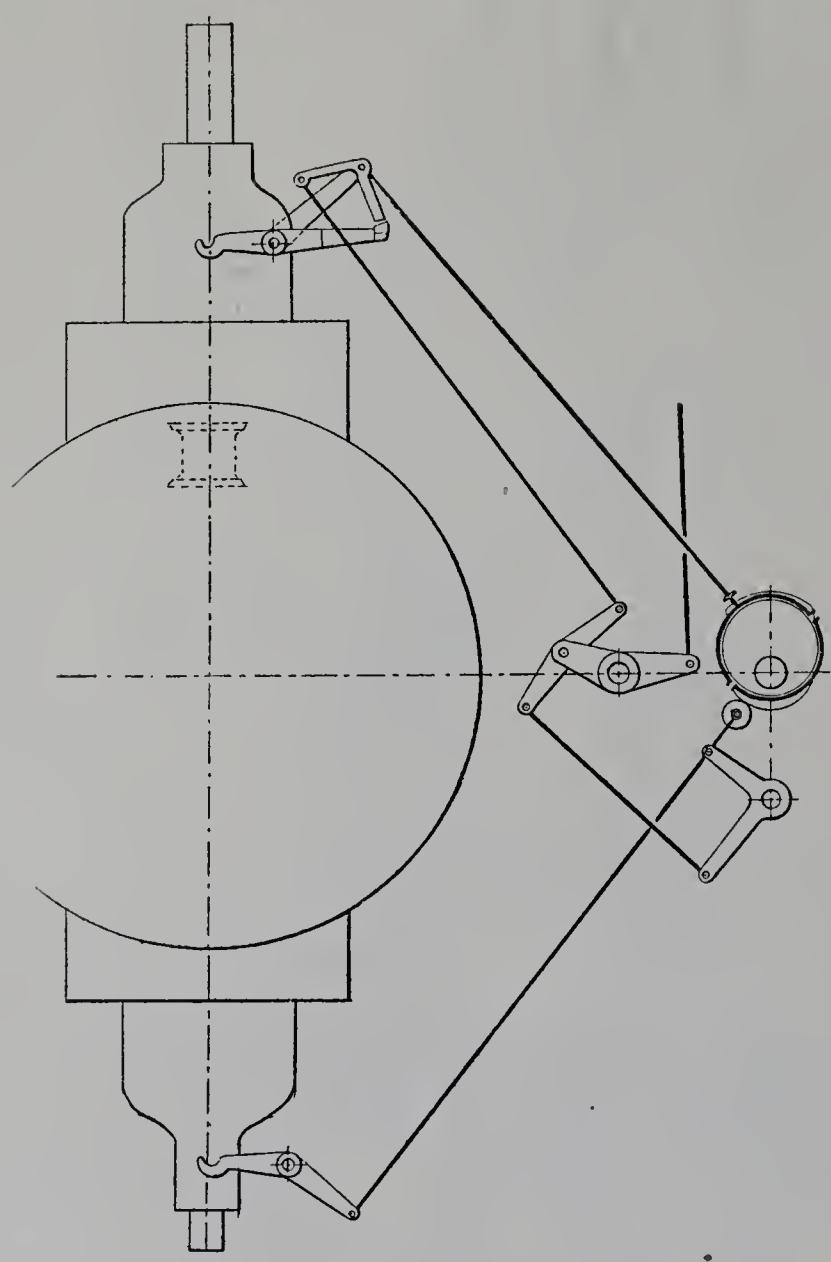


Fig. 244. — Distribution à soupapes, avec déclenchement pour l'admission. (M. Franco Tosi.)

que fonctionne celle d'admission et réciproquement. Dans tous les cas, le mouvement auxiliaire ainsi fourni par un excentrique, une manivelle ou une came est transmis par un système à liaisons dont la loi dépend de la position assignée à un point fixe. Comme pour les distributions sans déclic, il est important que ce point fixe n'éprouve pas de réaction tendant à le déplacer, surtout à l'instant de la levée de la soupape : c'est à cette condition que le système peut être mis avec succès sous le gouvernement du régulateur.

Pour que la fermeture de la lumière d'admission, consécutive au déclenchement, soit à la fois prompte et douce, il est intéressant de réduire autant que possible la masse libérée. C'est pourquoi l'on n'imite plus l'ancienne distribution Sulzer où le rappel entraînait non seulement la soupape et son levier, mais encore toute sa bielle de commande. La coupure entre le mécanisme à liaisons complètes et la partie qui s'en détache est généralement reportée tout près du distributeur, de manière à ne libérer que le tiroir et sa manette, ou la soupape et son levier. Nous verrons même que, dans une variante du système Corliss, la société Weyher et Richemond ne déclenche pas le tiroir lui-même, mais seulement un volet léger qu'on adjoint au tiroir et qui coupe le passage de la vapeur comme ferait une tuile de détente superposée à un tiroir plan.

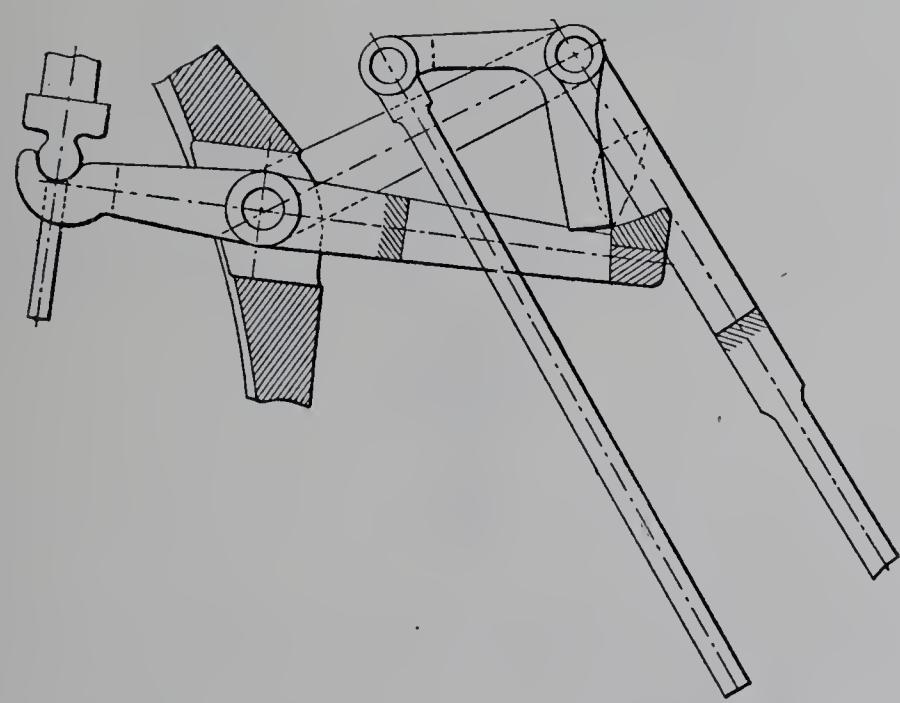
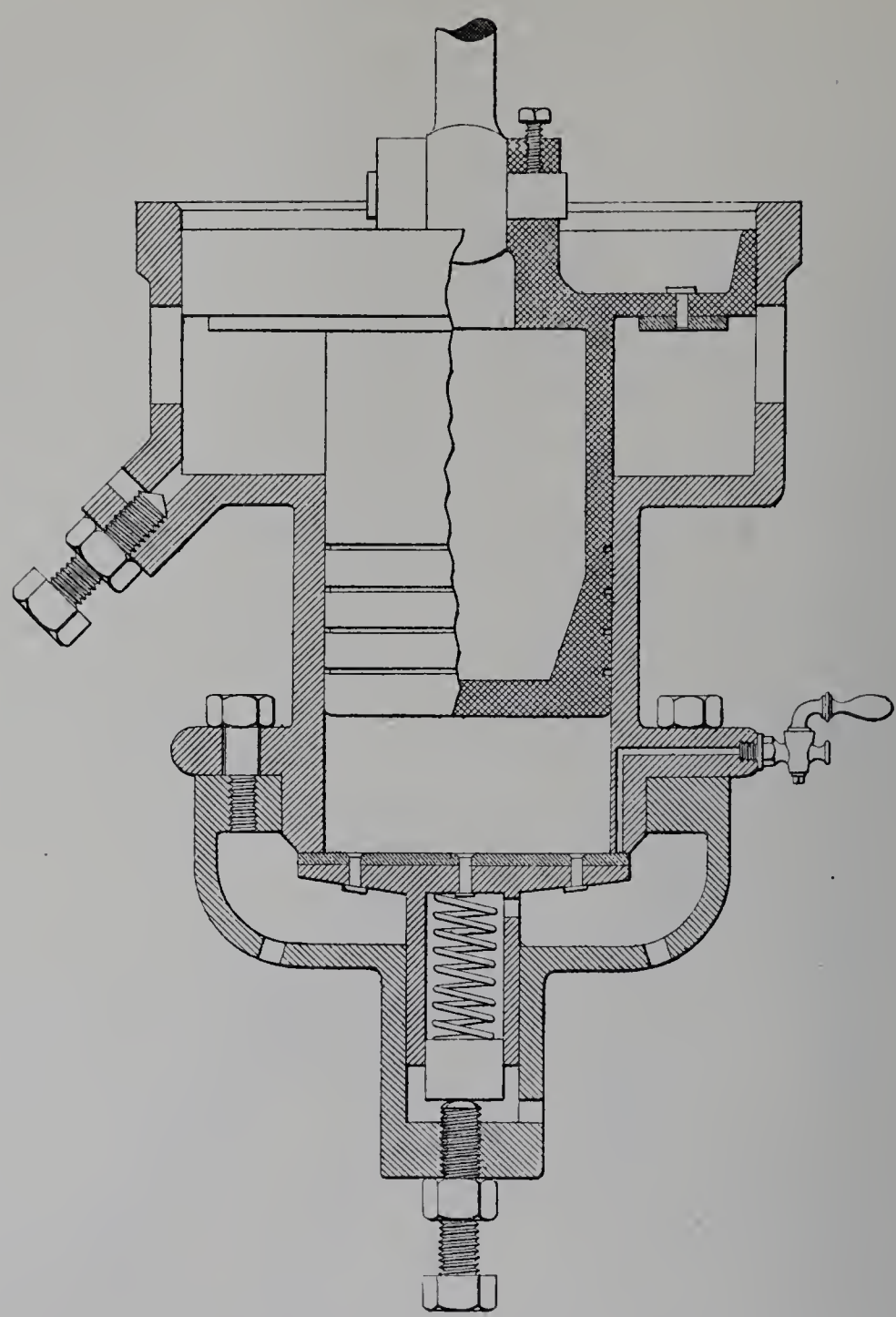


Fig. 245. — Détail de la commande de la soupape d'admission. (M. Franco Tosi.)

Le rappel est obtenu soit au moyen d'un ressort, soit par l'action de la pression atmosphérique sur un piston qui fait le vide au-dessous de lui pendant qu'il est entraîné dans le mouvement d'ouverture du tiroir ou de la soupape : tel est le piston rainuré mobile dans le cylindre de la figure 246. Dans l'un comme l'autre cas, il est nécessaire qu'un dispositif amortisseur adoucisse la fin du mouvement de retour. Les figures 247 à 249 montrent le piston-cloche, mobile dans une boîte à huile, qui remplit cet office dans la distribution Collmann : lors de la levée, l'huile passe librement de bas en haut au travers des trous dont est percée la face supérieure du piston ; à la descente, ces trous se ferment et le passage du liquide ne peut avoir lieu que par les ouvertures latérales, larges dans leur partie basse, mais se terminant en haut par des fentes triangulaires qui



Fig, 246. — Rappel pneumatique et amortisseur à air. (M. H. Bollinckx.)

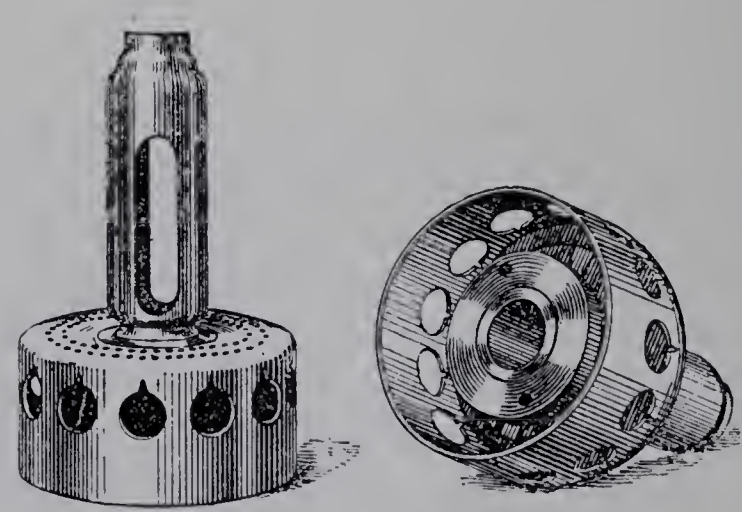


Fig. 247. — Piston amortisseur de rappel, système Collmann.

éteignent progressivement la fin du mouvement, de sorte que la chute de la soupape prend, aux divers degrés d'admission, les allures indiquées par les courbes telles que *mnq* (fig. 250). Dans le *dash-pot* représenté par la figure 246, c'est le piston du haut

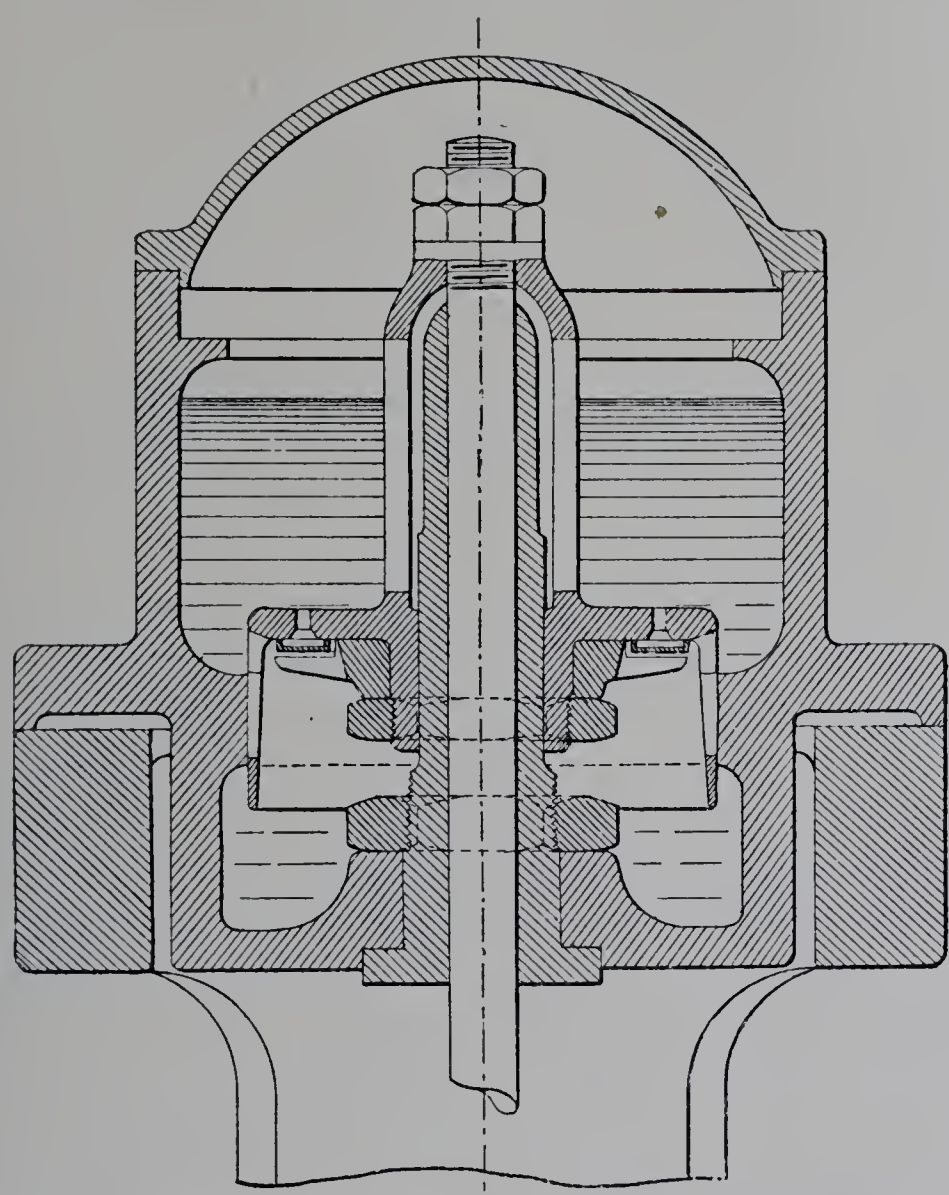


Fig. 248. — Coupe du piston amortisseur et du cylindre à huile. (Système Collmann.)

qui forme amortisseur d'après des principes analogues ; son action peut être réglée par une ouverture, plus ou moins notable, du robinet à pointeau figuré à gauche du dessin.

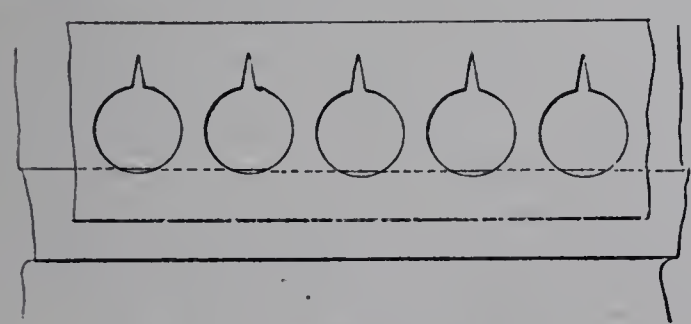


Fig. 249. — Ouvertures latérales du piston amortisseur.

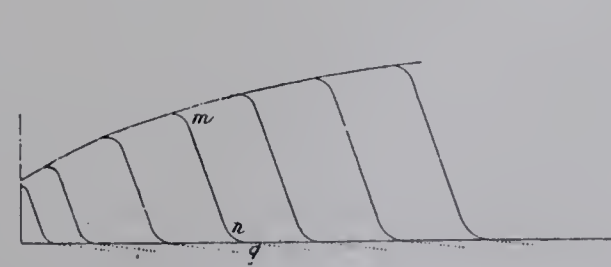


Fig. 250. — Diagramme des levées et des chutes d'une soupape d'admission, système Collmann.

Régularisation de la vitesse. — Dans la classification annexée au décret portant règlement de l'Exposition, les *régulateurs et modérateurs de mouvement* ont été inscrits au

IMPRIMERIE NATIONALE.

nombre des appareils divers de la mécanique générale, qui font l'objet de la Classe 21. Néanmoins, la nomenclature relative à la Classe 19, énumérant les principaux organes des machines qui ressortissent à cette Classe, mentionne les *régulateurs et modérateurs*. Cette répétition était dans la nature des choses. Les régulateurs et modérateurs de mouvement ont une généralité d'applications et une variété d'espèces qui fait de leur étude un important chapitre de la mécanique appliquée : nous n'avons pas à embrasser cet horizon. Mais, du seul point de vue où nous sommes placés, l'examen de la machine à vapeur serait bien incomplet si nous faisions abstraction des moyens employés pour en régulariser la vitesse. Ces moyens font partie intégrante de ses dispositions les plus essentielles.

On met conjointement en œuvre, pour cette régularisation, le volant, le régulateur et la liaison de celui-ci avec le dispositif chargé, en agissant sur la pression de la vapeur ou sur le degré d'admission, de faire varier le travail par tour : ce sont les différentes parties d'un même organisme dont les fonctions sont connexes.

Le rôle du volant est double. Il a tout d'abord une mission propre, dont il doit s'acquitter seul sans que le régulateur s'en mêle; c'est de contenir dans la limite d'une variation minime les écarts de vitesse résultant des changements périodiques du couple moteur ou de ceux du couple résistant qui auraient une période analogue. Il doit ensuite, si l'un ou l'autre couple subit une variation plus durable, ralentir assez l'accélération moyenne pour permettre au régulateur d'intervenir.

Dans les groupes électrogènes à commande directe, la masse tournante de la machine électrique fournit une part plus ou moins importante du moment d'inertie nécessaire. Beaucoup d'alternateurs sont construits de manière que cette part aille jusqu'à la totalité : ce sont les *alternateurs-volants*. La vitesse linéaire des pôles mobiles est généralement voisine de 25 ou 30 mètres par seconde; on peut aller à 35 ou 40 mètres au moyen d'enroulements appropriés; les inducteurs à fer tournant, avec bobine centrale, acceptent des vitesses périphériques notablement plus élevées encore. La vitesse usuelle à la jante d'un volant de construction ordinaire étant d'environ 25 mètres par seconde, il est séduisant de réunir en un seul tout le volant et l'alternateur. Toutefois, cette solution conduit fréquemment à alourdir l'inducteur tout exprès, à n'utiliser pour l'action magnétique qu'une fraction de la largeur de la jante; on peut trouver plus avantageux d'ajouter franchement un volant séparé et d'avoir les coudées franches pour la construction de l'appareil électrique. Quant aux dynamos à courant continu, il convient de leur adjoindre un volant d'assez grande énergie.

Les efforts auxquels la matière d'un volant est appelée à résister sont des efforts d'extension et de flexion. La fonte de fer, qui a été pendant longtemps exclusivement employée et dont on continue à faire un usage assez général par motif d'économie, est donc, en principe, mal choisie pour une pièce de ce genre. L'acier moulé est évidemment préférable. L'avenir peut être ouvert aussi à d'autres solutions, tôles de fer assemblées, jantes frettées de fil d'acier, etc. Mais l'Exposition ne présente aucun spécimen de ces nouveautés. Les volants qui y figurent conservent, comme forme, les disposi-

tions classiques. La solidité des assemblages, la correction du calage sur l'arbre, sont l'objet de soins attentifs et qui ne sauraient être exagérés. Un perfectionnement à remarquer est la suppression de tout clavetage du moyeu, afin que le volant conserve sur l'arbre la liberté d'un déplacement à frottement dur pour échapper au danger d'un arrêt brutal (fig. 251).

Par l'effet de l'inertie du volant et des autres masses tournantes, la vitesse n'oscille, pendant un tour, de part et d'autre de sa valeur moyenne, que d'une minime fraction de celle-ci. Pour les machines servant à la production de l'électricité, cette fraction, en régime permanent, ne dépasse pas 1/200; autrement dit, l'écart entre le minimum et le maximum n'est pas supérieur à 1/100 de la moyenne : il est souvent compris entre 1/100 et 1/150 et s'abaisse quelquefois davantage. Cette extrême régularité dans le tour est naturellement facilitée par l'emploi des machines à plusieurs cylindres avec manivelles déphasées. Pour les moteurs d'usine actionnant des transmissions mécaniques, les conditions sont généralement moins sévères; une bonne régularité comporte, pour l'écart des vitesses extrêmes en régime permanent, une fraction comprise entre 1/70 et 1/100 de la moyenne.

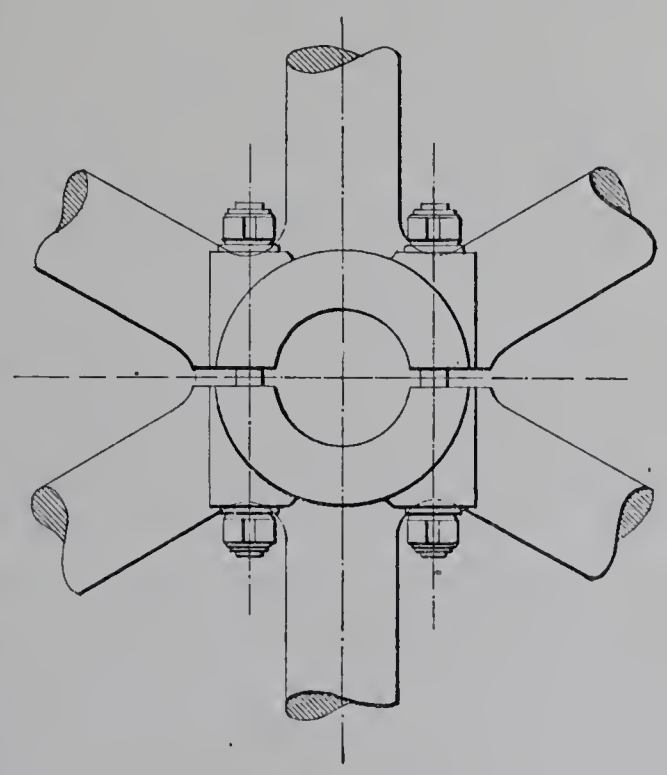


Fig. 251. — Moyeu de volant non claveté. (M. H. Bollinckx.)

Il faut maintenant régler la vitesse moyenne. Le plus souvent, c'est de la rendre pratiquement constante qu'il s'agit. Dans quelques cas, cependant, il vaut encore mieux la faire varier suivant la puissance à développer : c'est ainsi, par exemple, que le moteur d'une dynamo à courant continu peut être gouverné de manière à assurer la constance, non de la vitesse, mais de la différence de potentiel aux bornes (ou de l'intensité, si l'on suppose une distribution en série). Un alternateur est, en général, obligé de tourner à vitesse constante, la période des courants ne devant pas changer; toutefois, s'il est appelé à fonctionner en parallèle avec d'autres, la régulation doit comporter deux degrés : pour que la répartition de la charge totale soit déterminée et que le maintien du synchronisme n'amène pas de trop fortes réactions entre les alternateurs, le régulateur laisse subsister entre la marche à vide et le régime de pleine charge une chute de vitesse notable, ordinairement supérieure à 6 p. 100; c'est un dispositif additionnel qui permet de corriger l'écart et de ramener la vitesse moyenne à une même valeur quelle que soit la charge.

Dans le cas particulier d'une dynamo à courant continu tournant à vitesse variable, l'électricité intervient nécessairement dans le fonctionnement du régulateur : la machine Robey nous montrera un exemple de cette intéressante combinaison. Mais, en général,

lorsque le programme est de rendre la vitesse pratiquement constante ou d'en faire une fonction légèrement décroissante de la puissance du moteur, le régulateur est purement mécanique.

Son action s'exerce en faisant varier, soit la pression initiale de la vapeur, soit le degré d'introduction. Cette deuxième solution est de beaucoup la plus usitée; la première est cependant susceptible de bons résultats et nous verrons, par exemple, MM. Sautter, Harlé et Cie lui donner la préférence pour leurs groupes électrogènes : il est à noter que le laminage à l'amont de la machine ne réduit pas l'énergie totale du fluide, qui s'assèche ou se surchauffe.

Qu'il agisse sur une valve d'étranglement ou sur le mécanisme de distribution, le régulateur d'une machine à vapeur est toujours à action directe : les appareils à action indirecte n'auraient pas assez de promptitude. Toutefois, quelques constructeurs adjoignent au régulateur à action directe un *compensateur*, qui entre en jeu lorsque le déplacement du manchon atteint une certaine limite et qui modifie progressivement la liaison du régulateur avec la distribution, de manière à faire reprendre toujours une même valeur à la vitesse de régime; c'est ainsi que la Société des Établissements Weyher et Richemond emploie depuis longtemps le compensateur Denis.

Les régulateurs mécaniques à action directe ont donné lieu à une multitude de travaux scientifiques du plus haut intérêt. Sans remonter au delà des derniers dix ans, les nouvelles études de M. Dwelshauvers-Dery et de M. Georges Marié, le mémoire et les articles de M. Léon Lecornu, ceux de M. Gretchaninow, de M. Stodola, etc., ont singulièrement enrichi et précisé la théorie; les recherches expérimentales de MM. Ransom, Duveau, Thurston et Carpenter, Compère, Richardson, Hibbins et Smith, Reynolds, etc., sont venues guider ou confirmer utilement les raisonnements des théoriciens. Enfin les inventeurs de mécanismes de distribution, les constructeurs de machines à vapeur, les électriciens soucieux d'une extrême régularité pour les moteurs de leurs appareils, n'ont cessé de multiplier les observations et de perfectionner la pratique. On a appris à tenir compte, non seulement des propriétés des régulateurs, mais aussi et surtout de la corrélation intime qui lie, sur chaque machine, le fonctionnement du régulateur à l'inertie du volant et au gouvernement de la distribution; de telle sorte que l'antique régulateur de Watt, par exemple, judicieusement employé, peut aujourd'hui procurer une régularité 8 ou 10 fois plus grande que celle obtenue à l'origine.

Le principe de l'action des régulateurs est la force centrifuge, seule ou associée à la force d'inertie tangentielle.

Dans les appareils qui utilisent exclusivement la force centrifuge, chacune des masses régulatrices s'éloigne ou se rapproche de l'axe sans sortir d'un plan méridien entraîné dans le mouvement de rotation de l'appareil. A chaque vitesse angulaire correspond une forme du régulateur pour laquelle la force centrifuge équilibre exactement la force antagoniste, de sorte que, dans cette situation supposée permanente, il n'y a nulle tendance à la déformation du régulateur dans un sens ni dans l'autre, nulle résistance passive mise à contribution. Cette forme détermine une certaine position de l'attirail aboutissant

au papillon d'étranglement ou au mécanisme de distribution, donc une certaine valeur du travail par tour. L'idée première est qu'une relation déterminée se trouve ainsi établie entre la vitesse de rotation et le couple moteur, et que l'on est maître, en réglant cette relation, de faire correspondre à une chute de vitesse, aussi faible qu'on le désire, la variation totale du travail par tour, depuis zéro jusqu'au maximum. Mais, dès qu'on y regarde de près, les complications apparaissent.

Tout d'abord, sous le simple point de vue statique, c'est-à-dire en ne considérant, dans le plan méridien tournant, que les états d'équilibre relatif susceptibles de correspondre aux différentes vitesses de rotation, on remarque que le régulateur ne peut modifier sa forme, dans un sens ou dans l'autre, sans surmonter les résistances passives de l'attirail et les siennes propres; il y a donc, pour chaque position de l'attirail, deux vitesses différentes ω' et ω'' capables de faire sortir le régulateur du repos relatif dans un sens ou dans l'autre; l'une est plus grande, l'autre plus petite que la vitesse considérée tout à l'heure et pour laquelle il n'y avait nulle tendance au déplacement de l'attirail. Pour que toutes les vitesses d'équilibre, quelle que soit la position de l'attirail, soient comprises entre deux valeurs extrêmes n'ayant entre elles qu'un écart suffisamment restreint (quelques centièmes de la vitesse moyenne normale ω_1) il faut :

1° Que, pour chaque position de l'attirail, ω'-ω'' ne soit qu'une petite fraction de ω_1;

2° Que la variation, soit de ω', soit de ω'', entre les positions extrêmes de l'attirail, ne soit aussi qu'une petite fraction de ω_1.

Toutefois ces conditions appellent respectivement les deux remarques suivantes :

1° S'il est bon de réduire ω'-ω'' (régulateur puissant et faible résistance d'attirail), c'est à la condition que l'écart des vitesses dans le tour, permis par le volant, soit moindre encore, car, en réalité, aucun régime ne comporte une vitesse angulaire constante; la condition d'équilibre du régulateur, c'est-à-dire la condition pour qu'un régime puisse durer sans que l'attirail se déplace, est que les vitesses de ce régime restent comprises entre les valeurs ω' et ω'' correspondant à la position considérée de l'attirail;

2° Si l'on réduisait à zéro les variations de ω' et de ω'' en fonction de la position de l'attirail (régulateur isochrone), on n'aurait aucune stabilité, car l'attirail passerait de la position d'admission nulle à celle qui porte au maximum le travail par tour, ou inversement, sans pouvoir se fixer dans aucune position intermédiaire. On peut d'ailleurs, pour assurer une valeur convenable à ces variations, soit prendre un régulateur voisin de l'isochronisme et lui imposer une assez grande déformation entre les positions extrêmes de l'attirail, soit employer un régulateur plus stable et réduire l'amplitude de la déformation, ce qui est possible si le régulateur stable est en même temps puissant ou si la modification de la distribution n'exige qu'un faible travail.

Mais tout ce qui précède ne concerne que le fonctionnement statique du régulateur, la série de ses états d'équilibre. Dès que l'état d'équilibre correspondant à un certain régime se trouve rompu, les phénomènes se compliquent singulièrement. Le régulateur, considéré dans son mouvement relatif par rapport à son axe tournant, subit des accélérations qui mettent en jeu des forces d'inertie. Celles-ci nuisent à la promptitude du

départ; puis, une fois le régulateur arrivé à ce qui devrait être sa nouvelle position d'équilibre, elles tendent à la lui faire dépasser. En outre, le système n'est plus sensible seulement aux écarts de vitesse supérieurs à une certaine limite; c'est la valeur même de la vitesse angulaire qui figure dans l'équation du mouvement relatif. Ce n'est pas tout : si les causes de la déformation du régulateur sont complexes, ses effets ne le sont pas moins. Supposons qu'un certain régime fût établi, puis qu'une perturbation survienne, telle qu'une modification brusque du couple résistant : la vitesse angulaire sort des limites de l'équilibre relatif du régulateur et celui-ci se met à déplacer son attirail; mais ce peut être pendant une phase du mouvement où le déplacement donné n'aura son effet définitif qu'au bout d'un certain temps, temps plus ou moins notable suivant les dispositions de la machine, le nombre de ses cylindres, la situation de la distribution, etc. En attendant, il peut arriver que les effets de la perturbation s'exagèrent.

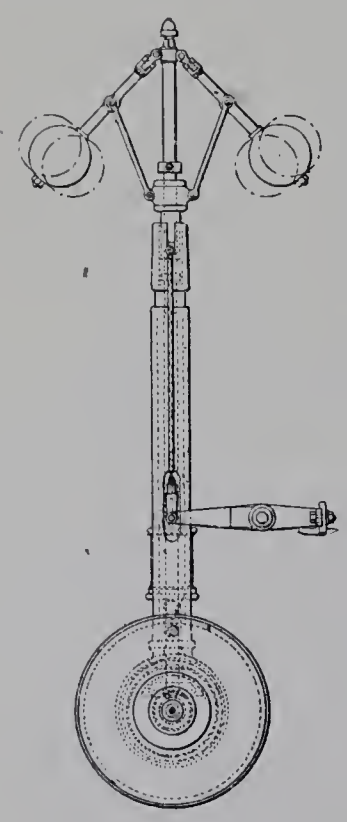


Fig. 252. — Régulateur de Watt gouvernant la détente d'une machine Corliss. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.)

De tout cela résulte que l'établissement d'un nouvel équilibre, s'il n'est pas totalement compromis, n'a souvent lieu qu'après une série d'oscillations. Un artifice assez fréquemment employé pour les amortir rapidement, consiste à munir le régulateur d'une cataracte à huile ou à air. Suscitant une résistance qui croît avec la vitesse de l'attirail, mais qui s'annule avec elle, ce dispositif n'intervient ni dans les positions d'équilibre, ni dans l'accélération initiale quand le régulateur sort du repos relatif; ce n'est qu'au cours du mouvement que la cataracte influe sur la valeur des résistances passives du système.

La force antagoniste, résistances passives à part, peut être fournie par la pesanteur ou par des ressorts.

La première solution ne s'applique d'une manière simple qu'aux régulateurs à axe vertical. La pesanteur agit sur les boules ou sur le manchon. Avec des boules lourdes et un manchon léger, l'appareil n'a à tourner qu'à faible vitesse. C'est la forme la plus simple du régulateur de Watt, que nous trouvons appliqué de cette manière aux machines Corliss de MM. Garnier et Faure-Beaulieu (fig. 252), de M. Bollinckx, etc. On préfère assez généralement n'avoir que des boules de faible masse et faire tourner le système à grande vitesse; la force antagoniste est obtenue en chargeant le manchon, par exemple au moyen d'une grosse masse centrale; on ajoute souvent l'action réglable d'un levier à contre-poids ou d'un ressort. C'est ainsi que sont constitués les régulateurs de Watt à masse centrale des maisons Carels, Dujardin, de la Compagnie de Fives-Lille, etc. Si la forme est isocèle et si l'on place les boules aux sommets latéraux du losange articulé, on a le régulateur de Porter, très employé, notamment par les maisons Sulzer, van den Kerchove, Weyher et Richemond et autres. Le type de Proell, à tiges renversées, est utilisé par la Société alsacienne (fig. 253), par la maison Biétrix, par la Société de Prague pour la

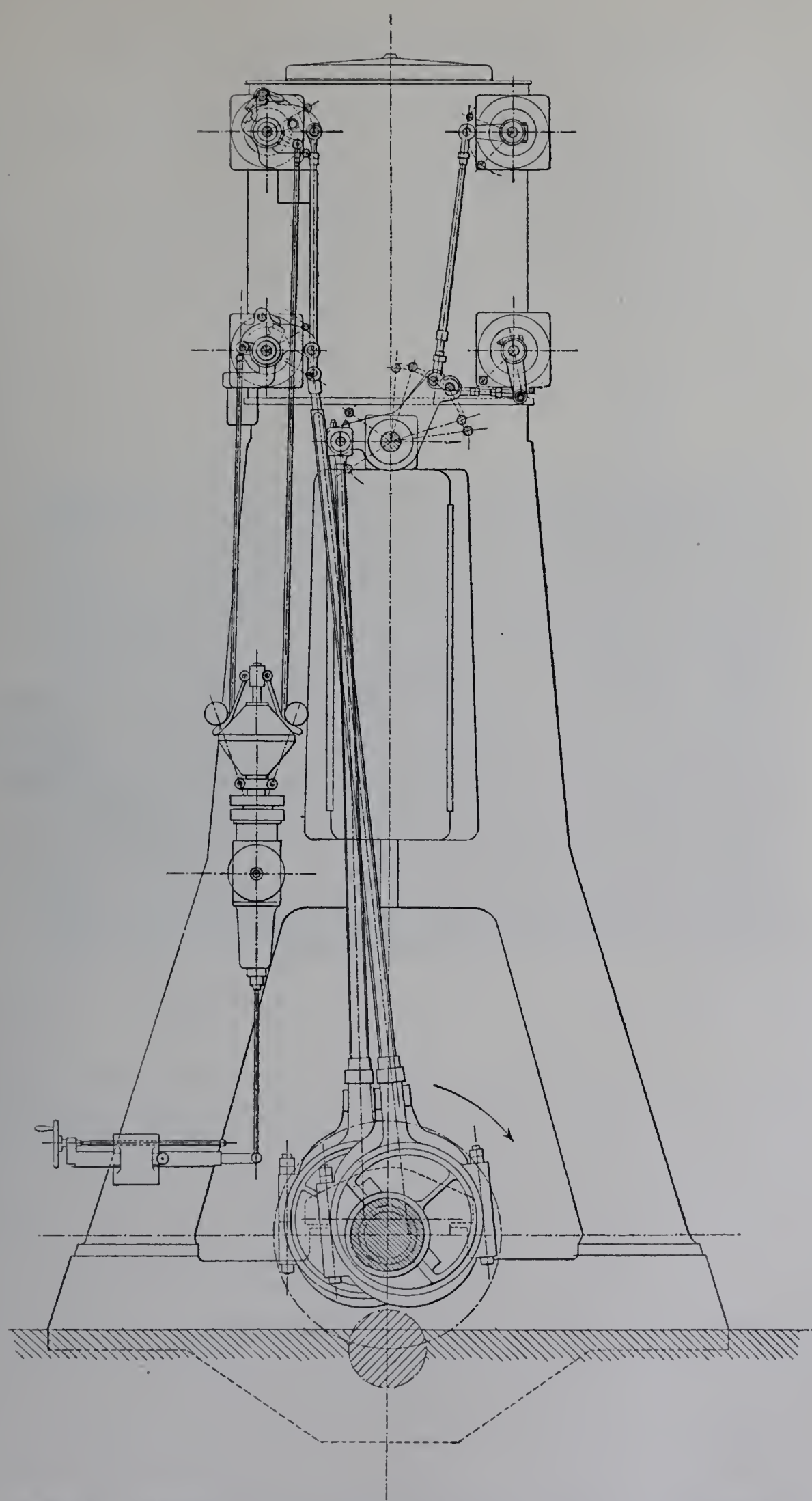


Fig. 253. — Régulateur de Proell, appliqué à la machine verticale de la Société alsacienne de constructions mécaniques.

CONSTRUCTION DE MACHINES, etc. Dans le type créé par M. BEER, les boules sont suspendues à des leviers coudés qui supportent sur des galets l'épanouissement supérieur d'une lourde masse axiale en forme de champignon.

On se rapproche plus ou moins de l'isochronisme suivant les dispositions du système articulé. Le régulateur à bras croisés de FARCOT peut être rendu aussi isochrone que l'on veut. Il en est de même du type d'Andrade, employé par plusieurs constructeurs français (PIGUET, H. BRÛLÉ ET Cie, etc.).

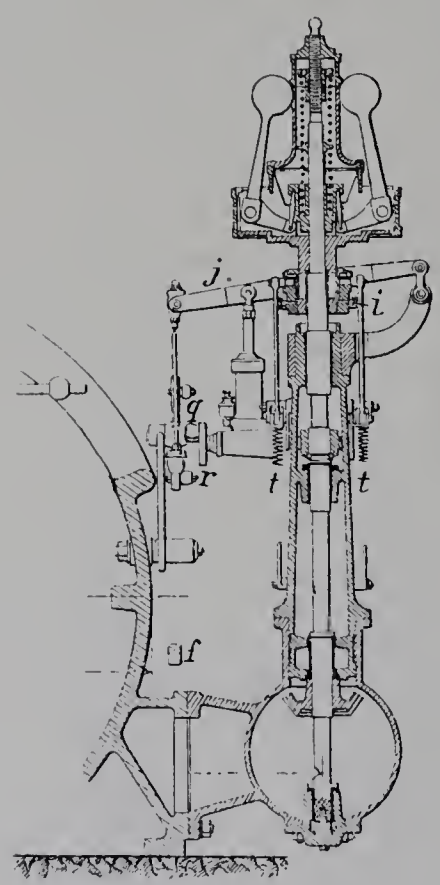


Fig. 254.
Régulateur d'Escher Wyss.

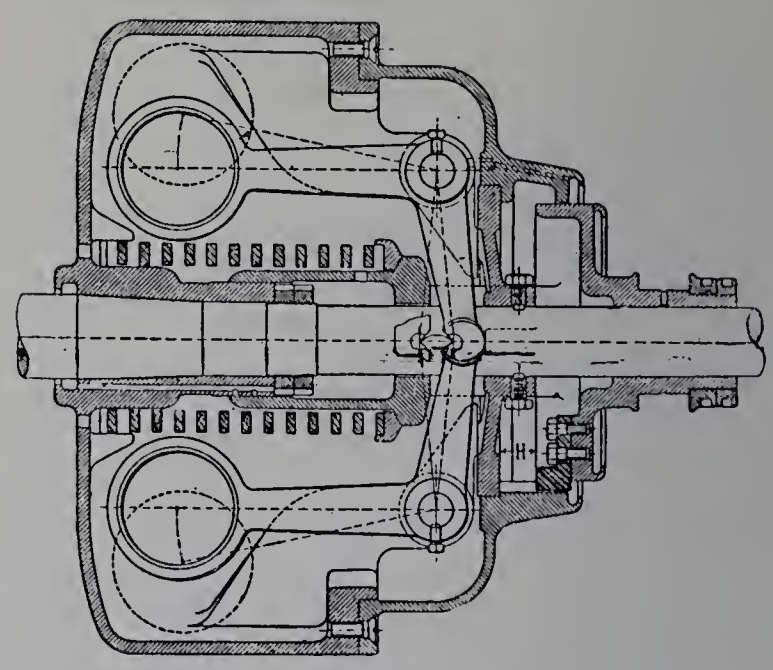


Fig. 255. — Régulateur à force centrifuge à axe horizontal.
(M. L. Lang.)

L'emploi de ressorts pour la force antagoniste offre divers avantages. La réaction est obtenue sans effet de masse et indépendamment de l'orientation de l'appareil. Si le ressort agit dans la direction de l'axe, comme fait le poids du manchon dans les systèmes précédents, sa tension est aisément réglable en marche. S'il est directement opposé à la force centrifuge, l'antagonisme des deux actions ne met en jeu aucun frottement. La force d'un ressort croît avec sa déformation : c'est une circonstance dont il y a lieu de tenir compte dans l'équation de l'équilibre relatif du régulateur et qui influe, d'une manière différente suivant les cas, sur son degré d'isochronisme.

On peut conserver le principe du régulateur à rotation rapide, monté sur un arbre vertical actionné par une transmission multiplicatrice de la vitesse : on constitue ainsi des appareils d'une grande puissance par rapport à leur masse totale. Tels sont le régulateur de la SOCIÉTÉ ESCHER WYSS (fig. 254) à long ressort axial, le régulateur Hartung, constitué par une boîte tournante dans laquelle deux masses, soumises à l'action de la force centrifuge, sont directement ramenées vers l'axe par de forts ressorts à boudin, etc.

Mais, avec la tendance actuelle à imprimer aux machines elles-mêmes d'assez grandes vitesses de rotation, on aime à profiter de ce que les régulateurs à ressort peuvent avoir leur axe horizontal pour les installer directement sur l'arbre moteur ou, s'il s'agit d'une machine horizontale à soupapes, sur l'arbre de distribution. Leur mode d'action peut rester le même que dans les cas précédents : c'est ainsi que M. Ladislas Lang gouverne le déclic de la distribution Collmann en montant sur l'arbre de distribution le régulateur représenté par les figures 255 et 256; MM. Stork frères emploient d'une manière analogue un régulateur de Proell à axe horizontal; dans les moteurs à grande vitesse Willans et Carels, le régulateur à force centrifuge est monté sur l'arbre de la machine et agit sur une valve d'étranglement.

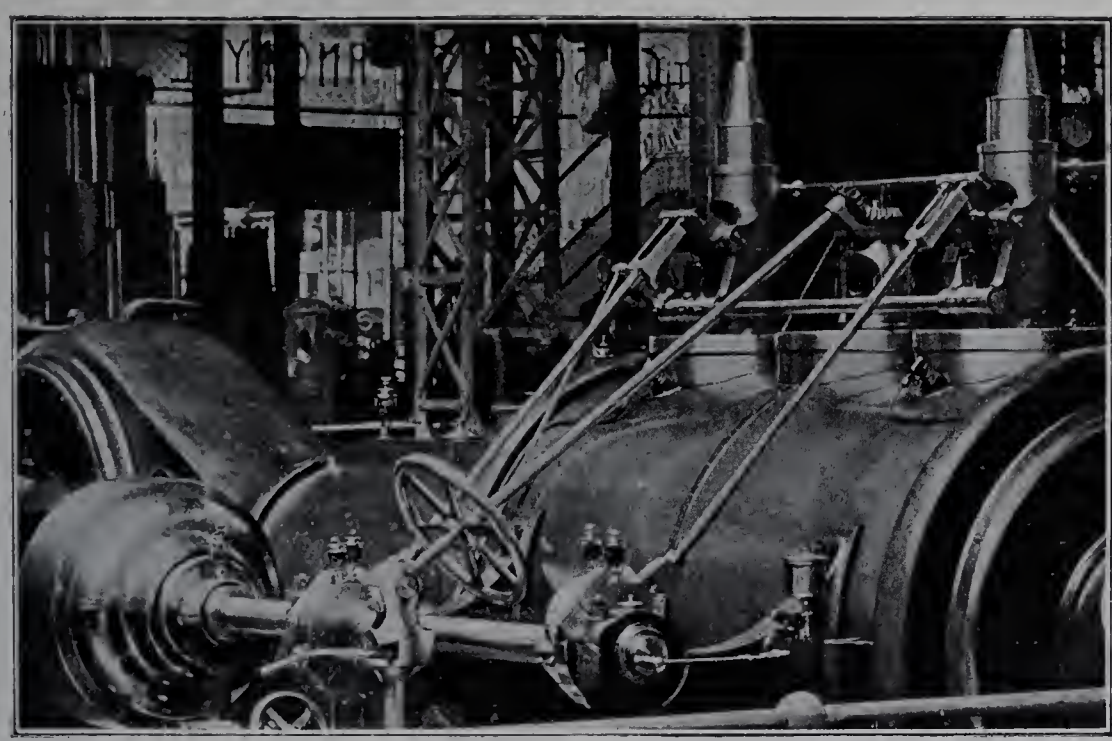


Fig. 256. — Installation du régulateur gouvernant la distribution Collmann de la machine Lang.

Un autre genre de solution, actuellement très en faveur, consiste à placer sous la dépendance du régulateur, au lieu de la position d'un point fixe, le calage d'un excentrique. On établit ainsi une relation tout à fait directe entre le régulateur et le mécanisme de distribution. Quand l'excentrique est monté sur l'arbre moteur et peut être juxtaposé au volant, il est tout indiqué de prendre celui-ci pour support du régulateur. On a ainsi le système du *régulateur-volant*, susceptible de donner un ensemble remarquablement simple, homogène et compact (fig. 257 à 259).

Les régulateurs de cette classe peuvent être, tout comme le « gouverneur » de Watt, exclusivement à force centrifuge. Toutefois, le plus souvent, le constructeur met à profit la facilité avec laquelle l'appareil peut être rendu sensible, dans telle mesure que l'on désire, à la force d'inertie tangentielle. Il suffit de choisir le point d'articulation de chacune des masses régulatrices de manière que la trajectoire de son déplacement relatif ne soit pas exactement radiale, mais ait une composante perpendiculaire au rayon. La force d'inertie tangentielle a la propriété avantageuse d'entrer instantanément en jeu

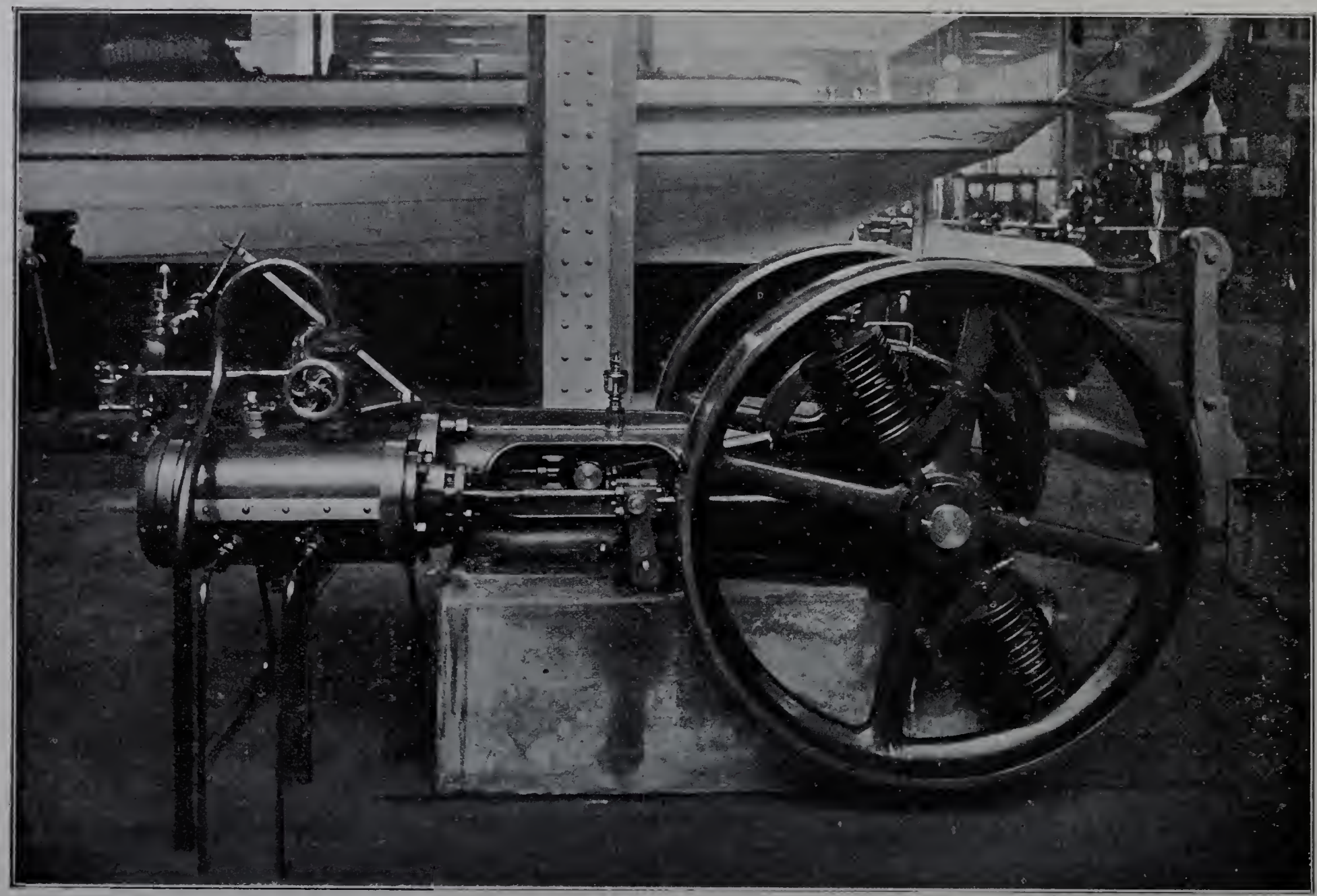


Fig. 257. — Régulateur-volant gouvernant le tiroir cylindrique d'une petite machine à grande vitesse. (MM. Stork frères.)

aussitôt que la vitesse angulaire varie, car elle est de l'ordre de grandeur de $\frac{d\omega}{dt}$, tandis que la force centrifuge n'éprouve de variation finie que s'il en est de même de ω. Par contre, si l'on constituait un régulateur exclusivement sensible à l'inertie tangentielle, comme serait un bras diamétral tourillonné sur l'axe même de rotation, on aurait un appareil tendant à s'opposer à toute variation de vitesse, mais indifférent à la valeur absolue de celle-ci. Il faut donc observer un juste milieu : demander à la force d'inertie tangentielle la promptitude d'intervention dès qu'un état d'équilibre est détruit, mais laisser à la force centrifuge le dernier mot pour fixer le nouvel état d'équilibre.

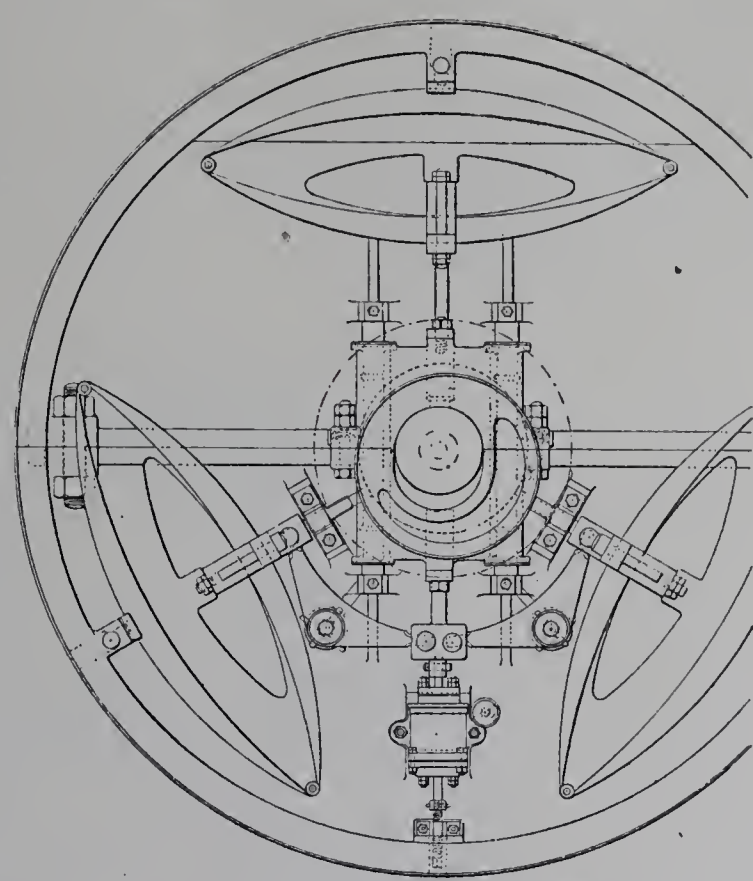


Fig. 258. — Régulateur-volant. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.)

Les principes de construction et de fonctionnement des régulateurs-volants s'appliquent aussi aux régulateurs montés sur l'arbre de distribution des machines horizontales à soupapes, comme le régulateur Lentz et Voit de la Première Société de Brünn (fig. 238, p. 247), le régulateur Knoller des Établissements Brand et Lhuillier, etc. Ces appareils contribuent avantageusement, par l'inertie de leur masse, à adoucir la rotation de l'arbre à excentriques.

Un régulateur est ordinairement complété par un dispositif de réglage à la main, permettant de corriger la vitesse angulaire moyenne et, en particulier, si la machine actionne un alternateur, de ramener cette vitesse à une même valeur quelle que soit la charge. Tantôt ce réglage s'opère en avançant ou reculant un poids le long d'un levier, ou en déplaçant le point d'articulation de celui-ci, tantôt en faisant varier la tension d'un ressort. Il importe que la correction puisse être effectuée, non seulement sans interrompre le service de la machine, mais sans apporter de perturbation ni causer d'oscillations au régulateur.

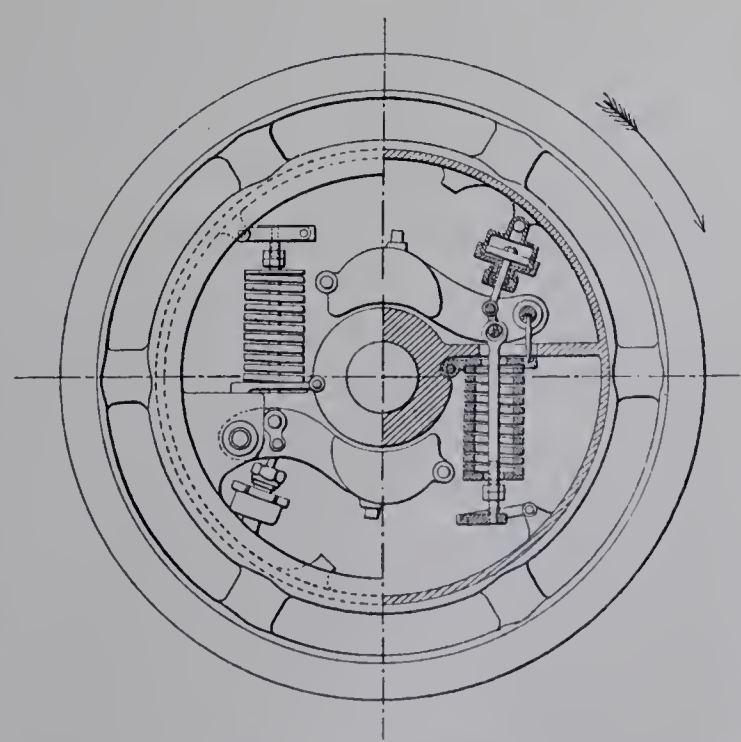


Fig. 259. — Régulateur-volant. (MM. Lederer et Porgès.)

La figure 238 montre, par exemple, à l'extrémité de l'arbre de distribution, un volant à main sur lequel on agit au cours du fonctionnement pour modifier la force du ressort qui équilibre, à l'intérieur du tambour tournant, la force centrifuge des masses régulatrices.

Dans la puissante machine verticale à grande vitesse de M. Tosi, un autre artifice est employé : ce sont les masses régulatrices elles-mêmes dont la valeur peut être modifiée; elles sont, à cet effet, constituées par des lentilles creuses à l'intérieur desquelles une pompe à main permet de refouler de la glycérine.

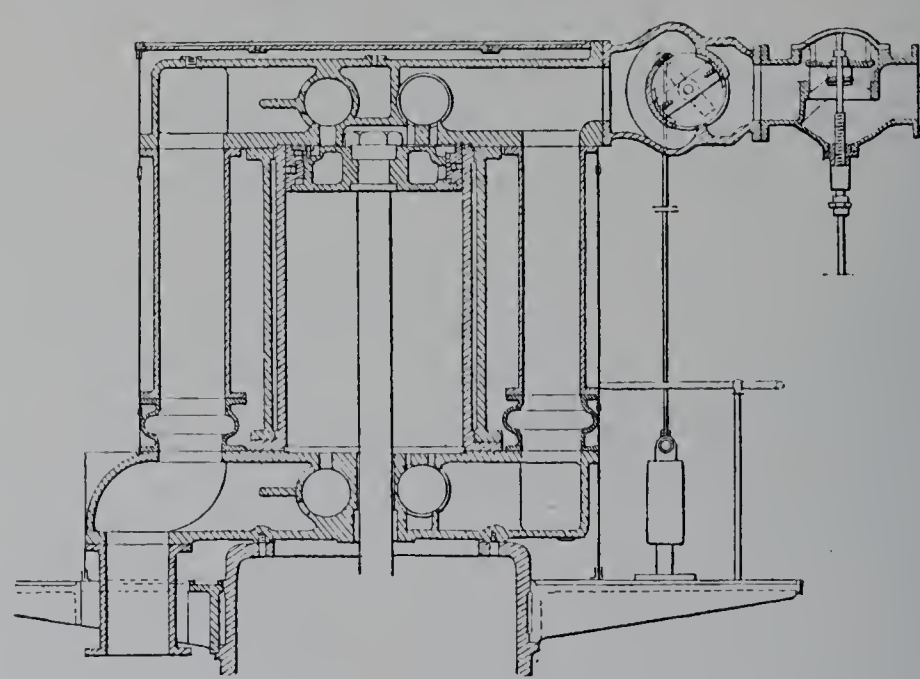


Fig. 260. — Robinet d'arrêt de vapeur, pouvant être déclenché par un régulateur de sûreté. (Société française de constructions mécaniques.)

Il est important pour la sécurité qu'une machine soit garantie en toutes circonstances, notamment dans la marche à vide, contre l'éventualité d'un emballement, susceptible de provoquer des désordres comme l'explosion du volant. Quand le régulateur est commandé par l'intermédiaire d'une courroie ou d'une chaîne sans fin, la rupture de cette transmission, immobilisant l'appareil et ramenant les boules au minimum d'écartement, serait à cet égard une cause de danger grave. En vue de l'éviter, on ajoute d'ordinaire un dispositif spécial, supprimant toute admission pour cette position des boules. Malheureusement, le mécanicien doit paralyser ce dispositif pour la mise en route et il peut omettre de le replacer ensuite dans la situation de libre fonctionnement. Certaines maisons de construction préfèrent employer deux régulateurs, dont un de sûreté : si la vitesse angulaire devenait excessive, celui-ci interviendrait en déclenchant un organe d'arrêt : dans la machine Allis de la Société française de constructions mécaniques, cet organe est un robinet en forme de tiroir cylindrique, interposé sur l'arrivée de vapeur et sollicité dans le sens de la fermeture par un levier chargé d'un poids (fig. 260).

Graissage. — De même que les régulateurs de vitesse, les appareils de graissage, envisagés dans leur généralité, ressortissent à la Classe 21. On n'a à considérer ici que les particularités de leur application aux machines à vapeur.

Le graissage intérieur, c'est-à-dire celui relatif aux garnitures des pistons et aux tiroirs, ne se fait plus qu'à l'huile minérale et les efforts tendent à le réduire au minimum, afin d'avoir le moins de matière grasse possible dans la vapeur d'échappement. Il suffit le plus souvent d'injecter le lubrifiant dans le courant de vapeur à l'amont du cylindre. En produisant cette injection, d'une manière continue, au moyen d'une pompe ou d'un appareil équivalent, tel que le graisseur Mollerup, recevant son mouvement de la machine elle-même, on proportionne exactement la quantité d'huile au nombre des allées et venues du piston.

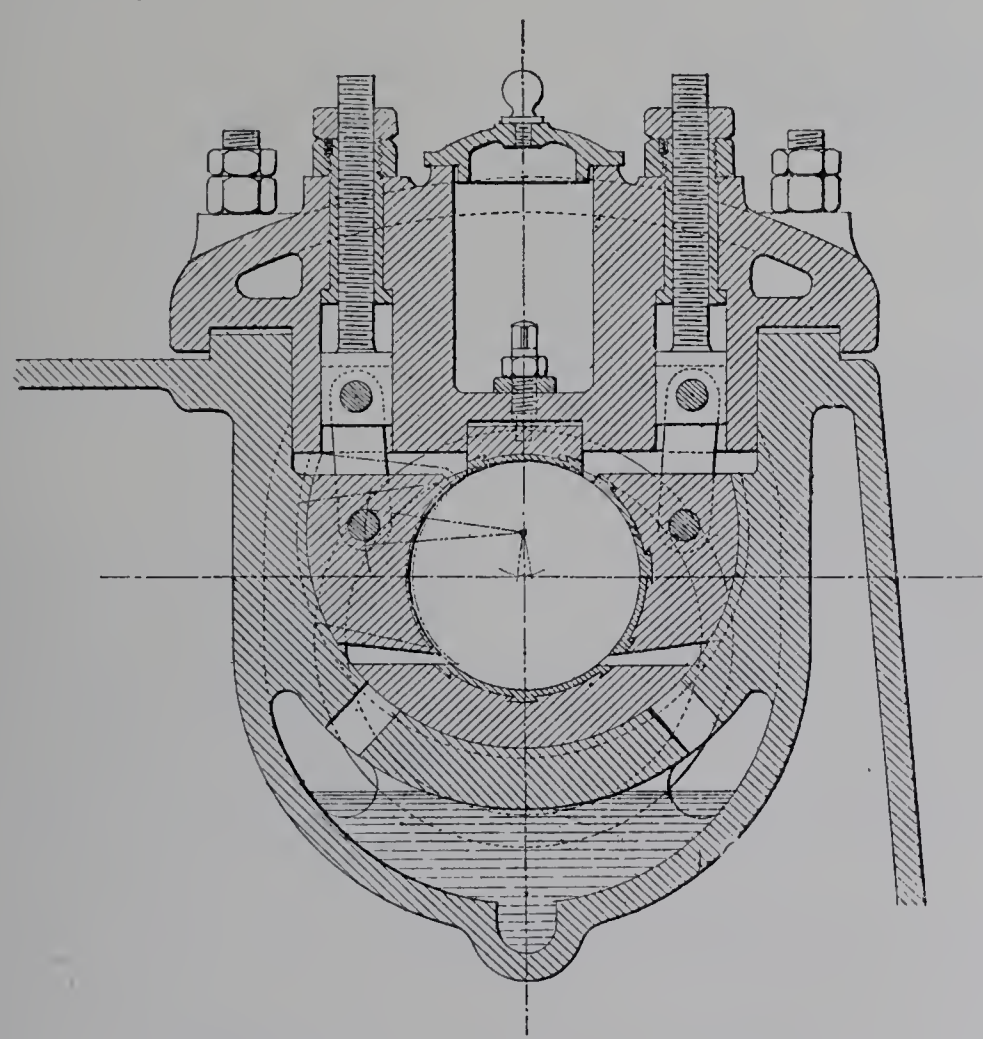


Fig. 261. — Palier d'arbre moteur, système David, avec graissage par bague roulante. (Établissements Weyher et Richmond.)

Il est parfois intéressant de séparer, au sortir de la machine, la vapeur d'échappement et l'huile qu'elle entraîne. C'est le but de divers appareils exposés dans la section des États-Unis : la Keystone engineering and manufacturing C°, de Philadelphie, M. Charles D. Moser, M. Joseph de Rycke, de New-York, s'adressent à la force centrifuge pour opérer la séparation ; la Direct separator C°, de Syracuse, préfère appliquer au dégraissage de la vapeur d'échappement un système d'égouttage analogue à celui qu'elle emploie pour la séparation de l'eau entraînée au sein de la vapeur vive.

Le graissage extérieur, c'est-à-dire celui des paliers, des têtes de bielle, des glissières, etc., est souvent fait aussi d'une manière exclusive au moyen d'huile minérale, moins coûteuse que l'huile d'olive. Les dispositions relatives à ce graissage sont l'objet, dans l'établissement des machines importantes, de soins très attentifs. Dans les paliers,

l'huile peut être relevée d'une manière continue au moyen de bagues ou de chaînettes roulantes (fig. 261 à 263). Pour le graissage des tourillons de manivelle, on met à profit la force centrifuge : d'un point d'alimentation fixe établi dans l'axe de l'arbre, cette force fait cheminer l'huile dans un conduit tournant en forme de contre-manivelle et, par un canal intérieur au tourillon, l'amène au contact du coussinet (fig. 264). Des dispositions analogues s'appliquent aux soies de manivelle des arbres coudés.

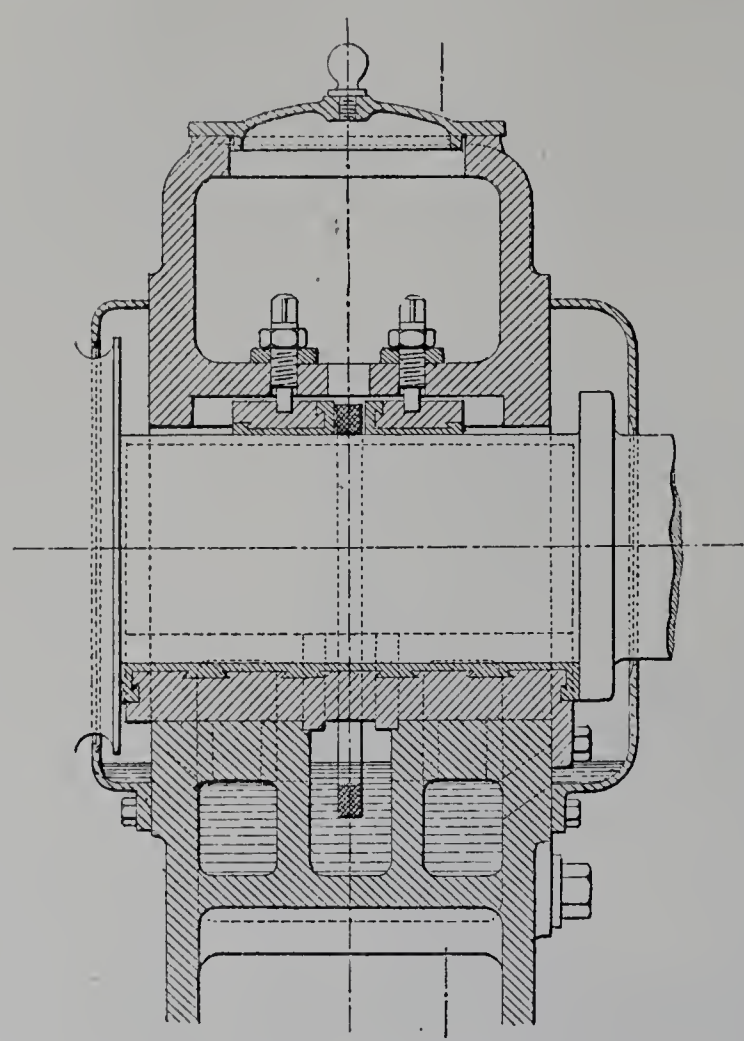


Fig. 262. — Coupe transversale du palier, système David.

Pour les articulations qui se déplacent d'un mouvement rectiligne alternatif, comme celle du pied de bielle, le système des lécheurs, venant à chaque excursion prendre l'huile sur autant de pinceaux, permet de rendre fixe le point d'alimentation.

Sur les grandes machines, la plupart des points d'alimentation sont desservis par un système de conduits qui partent d'un ou plusieurs réservoirs supérieurs munis de tubes indicateurs de niveau; le service de chaque conduit est réglé au moyen d'un robinet à pointeau, dont le débit est visible ou que complète un dispositif de compte-gouttes permettant de surveiller l'écoulement. On s'attache à grouper le plus grand nombre possible de robinets

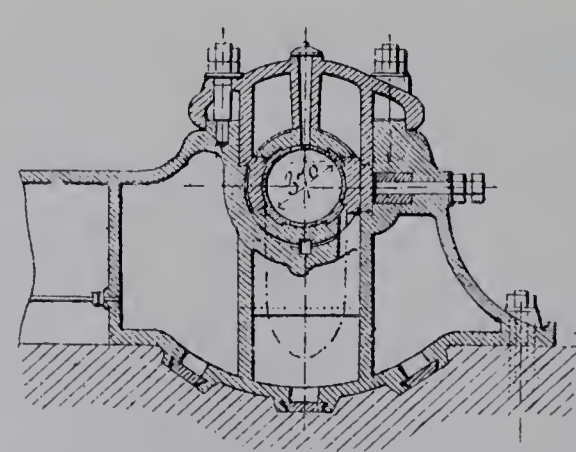


Fig. 263. — Palier d'arbre moteur avec graissage par chaînette. (MM. Carels frères.)

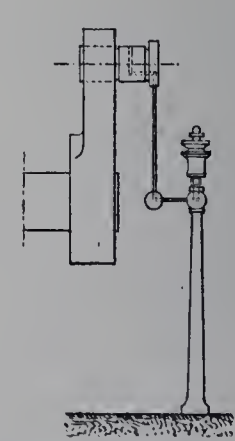


Fig. 264. — Graissage de manivelle.

de réglage au départ d'un même réservoir, afin de faciliter le service du mécanicien.

L'huile en excès est recueillie à la partie inférieure de la machine et, après filtrage.

utilisée de nouveau. Souvent cette reprise a lieu d'une manière continue, au moyen d'une pompe qui refoule le liquide dans un épurateur d'où elle fait retour aux réservoirs de distribution. Ceux-ci peuvent être sous pression, ainsi que les conduits distributeurs qui en partent; dans ce cas, et à la condition d'employer exclusivement une huile minérale de qualité appropriée, les deux services du graissage intérieur et du graissage extérieur peuvent être réunis en un seul.

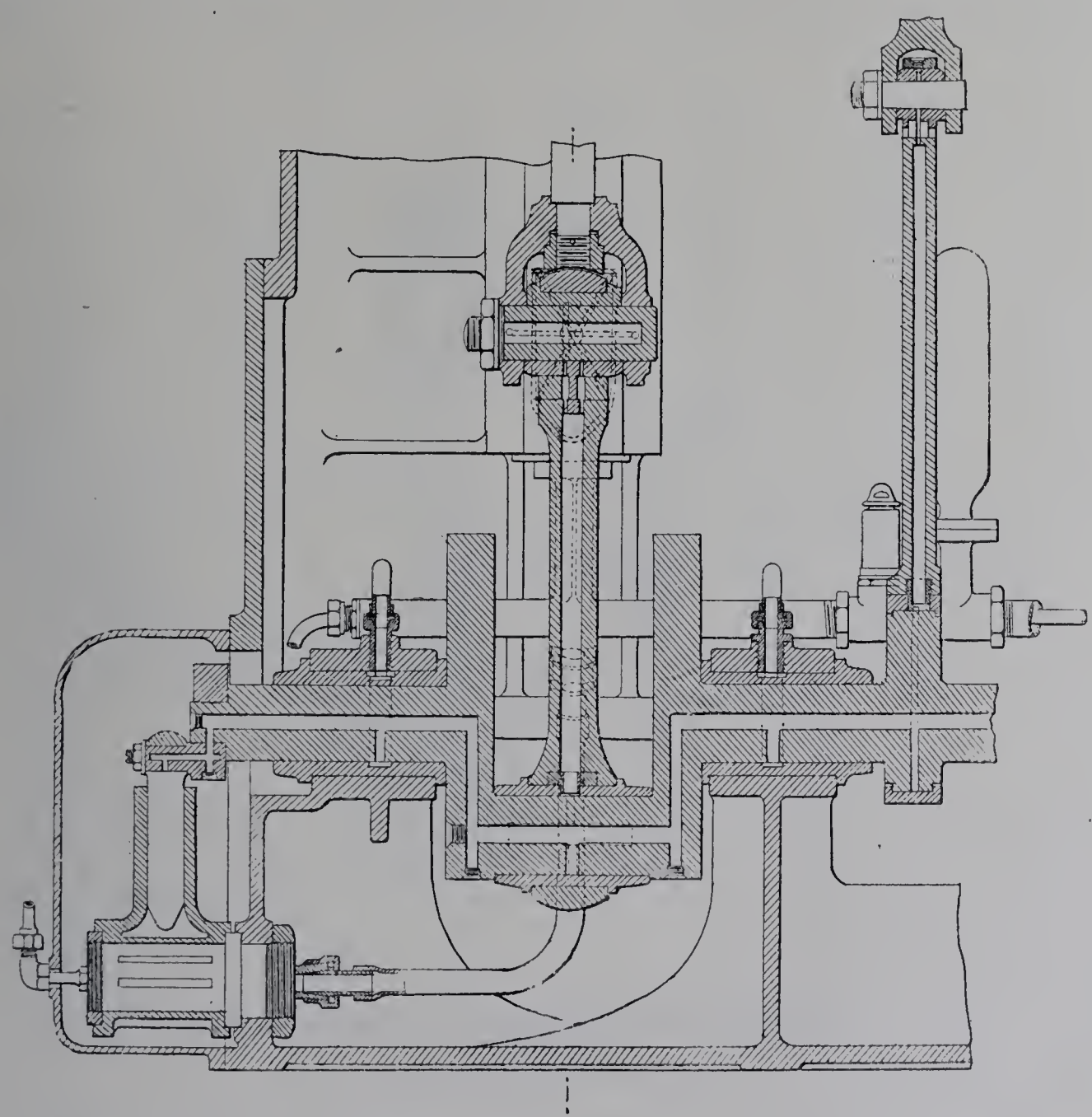


Fig. 265. — Principe du graissage sous pression pour machine à double effet et à rotation rapide. (MM. Delaunay-Belleville et Cie.)

Les surfaces frottantes des moteurs à grande vitesse nécessitent une lubrification particulièrement abondante. Souvent on donne à ces moteurs un bâti enveloppant qui forme une boîte close : on peut alors faire de la partie inférieure de cette boîte un bain d'huile qui graisse les paliers et où barbotent les têtes de bielle; la machine étant disposée verticalement, le liquide, continuellement battu, rejaillit sur les articulations de crosse, sur les glissières et sur les tiges de piston.

Un autre système est employé, pour le graissage intensif des articulations et des glis-

sières, dans les machines à double effet et à rotation rapide de MM. Delaunay-Belleville et Cie et de MM. Boulte, Larbodière et Cie : c'est le graissage sous pression dont les figures 265 à 267 représentent le principe. Une pompe oscillante sans clapets, puisant l'huile à la partie inférieure du bâti, la refoule dans une rampe de distribution munie d'une cloche à air et d'une soupape de trop-plein, chargée de manière à constituer un accumulateur à pression constante. Sur cette rampe sont greffés les conduits qui emmènent l'huile aux paliers de l'arbre; de chacun de ceux-ci, tandis qu'une partie du

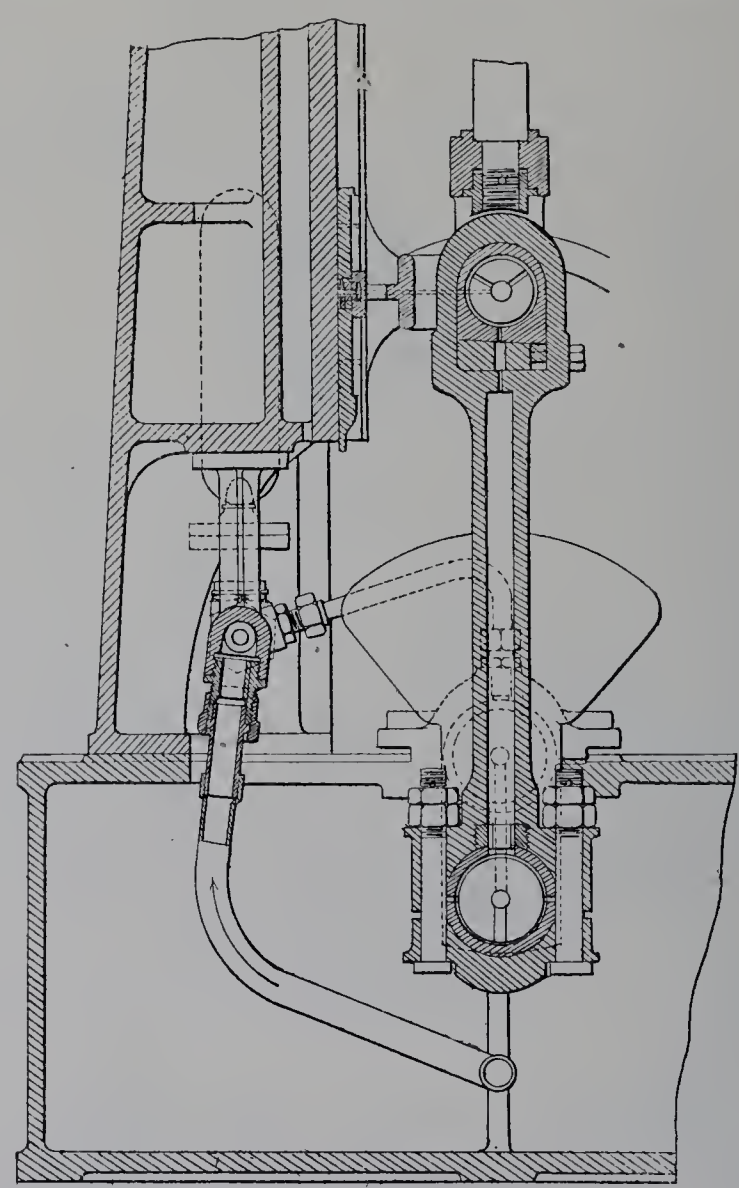


Fig. 266. — Coupe transversale.

liquide suinte entre la soie et le coussinet, le reste trouve par un conduit radial un écoulement vers l'intérieur de l'arbre, qui est foré suivant son axe et suivant le tracé de ses coudes; de l'axe de chaque manivelle, l'huile passe par un nouveau conduit radial à la soie de celle-ci; une partie s'échappe en lubrifiant la soie, une partie poursuit son chemin en montant par un canal percé suivant l'axe de la bielle; l'articulation de la crosse, puis la glissière sont lubrifiées successivement par la répétition du même procédé. Une disposition analogue est appliquée au collier et à l'articulation supérieure de chacune des barres d'excentrique.

Pour certaines articulations secondaires, que leur emplacement ne permet pas aisé-

ment de desservir au moyen du système général de la distribution d'huile, il est commode d'employer des godets à graisse consistante, dont on vient de temps à autre tourner le chapeau, ou qui sont pourvus d'un mécanisme automatique pour le refoulement progressif de la matière lubrifiante.

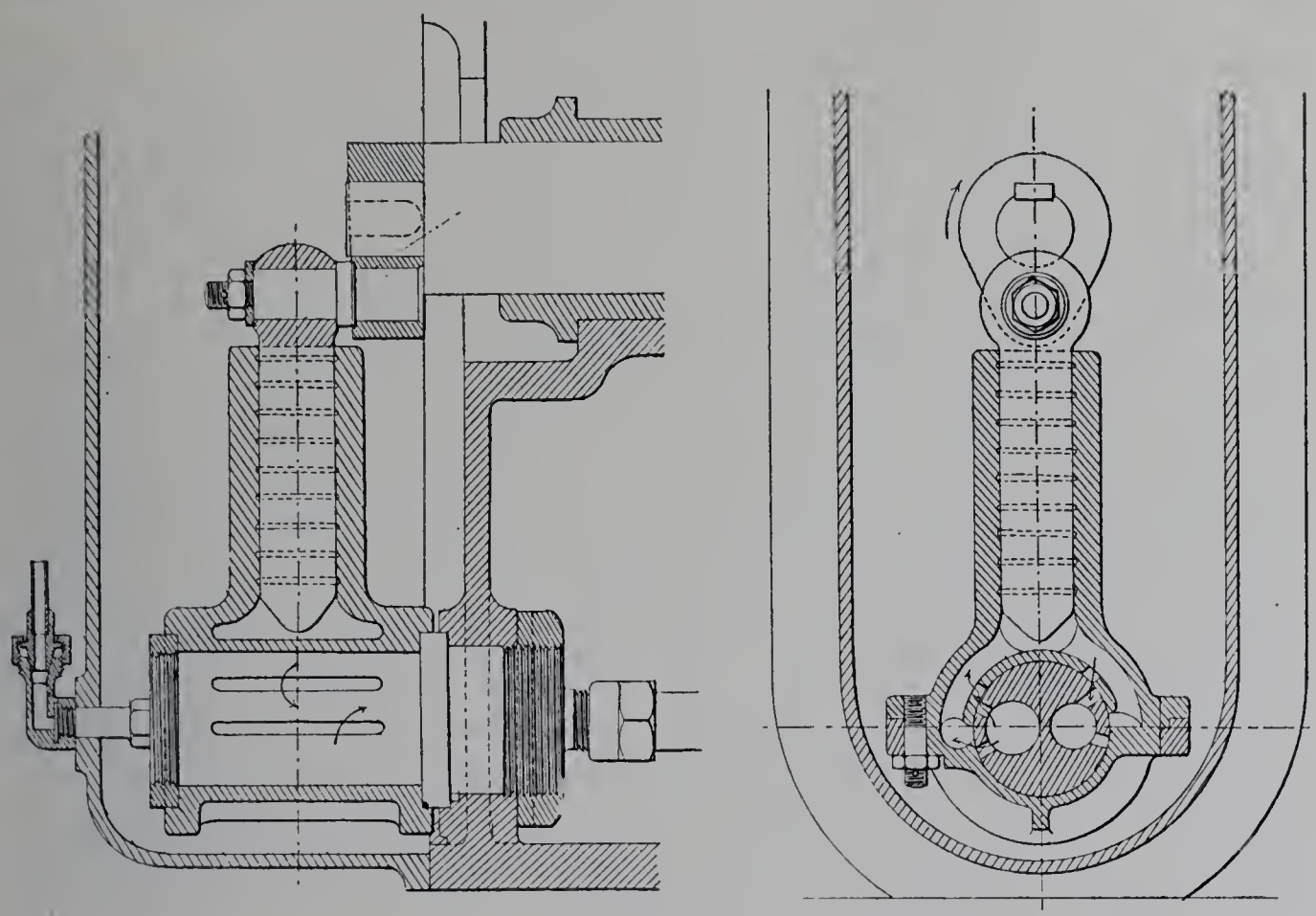


Fig. 267. — Détails de la pompe sans clapet.

Dispositions spéciales pour l'emploi de la vapeur surchauffée. — Tant qu'il ne s'agit que d'une légère surchauffe, c'est-à-dire tant que la température à l'admission ne dépasse pas 250 degrés environ, l'emploi exclusif de l'huile minérale pour le graissage intérieur et les presse-étoupes à garniture réfractaire suffisent, sans qu'il soit nécessaire d'apporter d'autres modifications aux dispositions usuelles des machines. Toutefois les tiroirs plans, fortement appliqués sur leurs glaces, seraient trop sujets à gripper; mais on peut employer des organes distributeurs à frottements doux, comme les tiroirs cylindriques et les obturateurs Corliss.

S'il s'agit d'un moteur à expansion multiple, ces explications visent le cylindre à haute pression; les cylindres suivants ne reçoivent que de la vapeur d'où toute surchauffe a disparu et aucune précaution spéciale n'est nécessaire.

Pour la haute surchauffe, les soupapes sont évidemment indiquées comme organes de distribution du cylindre à haute pression. L'huile minérale permet d'assurer la lubrification du piston de ce cylindre jusqu'à la température de 350 degrés et même au delà; le cylindre est alors sans enveloppe de vapeur; le rayonnement extérieur contribue à maintenir la paroi cylindrique à une température suffisamment modérée pour empêcher le grippement.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Nous verrons que M. Ringhoffer, en vue de contribuer à cet effet tout en restreignant la perte par rayonnement extérieur, dispose autour de la paroi une enveloppe de vapeur qui fait partie du réservoir intermédiaire entre le cylindre à haute pression et le cylindre suivant, de sorte que cette enveloppe est le contraire des enveloppes réchauffantes employées dans les moteurs à vapeur saturée.

En ce qui touche la lubrification des presse-étoupes, on a quelquefois supprimé le problème par l'emploi d'un cylindre à simple effet. Mais les presse-étoupes à bagues et grains en fonte, avec garnitures métalliques ou à base d'amiante, supportent des températures élevées, lorsqu'on a soin de les munir d'appareils de graissage automatiques et réglables.

Si une machine compound, avec détente variable au premier cylindre, est alimentée au moyen de vapeur fortement surchauffée, le grippement dans ce cylindre est d'autant plus à craindre que l'admission est plus prolongée. C'est pourquoi MM. Stork emploient la combinaison suivante. Du fluide à 400 degrés fourni par le surchauffeur, ils font deux parts. L'une se rend directement aux soupapes d'admission; l'autre est dirigée d'abord au travers d'un faisceau de tubes en U plongés dans la vapeur du réservoir intermédiaire; elle y abaisse sa température, puis revient se mélanger au reste. L'importance de cette dérivation est réglée par une soupape, placée sous la dépendance du régulateur à force centrifuge qui gouverne d'autre part le mécanisme de distribution. Aux admissions courtes, cette soupape est étranglée et la vapeur surchauffée arrive au cylindre presque sans rafraîchissement; aux admissions longues, la circulation dans les tubes en U est portée à son maximum et le mélange est ramené à une température n'excédant pas 350 degrés. La chaleur abandonnée au travers des tubes en U se trouve mise à profit pour améliorer la vapeur du réservoir intermédiaire.

Revue des principales machines. — On se propose, à la suite des explications générales qui précèdent, de passer en revue les principales machines exposées. L'ordre suivi sera celui qui se trouve tracé par ces explications mêmes : les machines à moyenne vitesse nous occuperont d'abord, puis celles à grande vitesse; dans chaque genre, nous envisagerons successivement les machines à simple, à double, à triple et, s'il y a lieu, à quadruple expansion; enfin, sous chaque titre, nous rangerons autant que possible les appareils suivant les caractères généraux de leur type, tout en évitant de trop fractionner l'exposition d'un même constructeur.

II

MACHINES À MOYENNE VITESSE.

§ 1. Simple expansion.

Machines du genre Corliss. — Des maisons de premier ordre, parmi les ateliers français, sont restées fidèles, même pour des puissances voisines d'un millier de chevaux, au système monocylindrique.

Possédant la longue expérience de la construction des machines à un cylindre horizontal avec bâti à baïonnette et distribution du genre Corliss, elles ont craint de compliquer l'ensemble du moteur sans retrouver au même degré, dans d'autres types, les avantages de souplesse et de facilité de service.

MM. Paul et Augustin Farcot. — Tel est le cas de l'ancienne et illustre maison Farcot, de Saint-Ouen.

En 1889, M. Joseph Farcot avait exposé une machine monocylindrique horizontale dont la puissance pouvait varier de 500 à 1,200 chevaux.

Cette machine, dont les dimensions et la puissance étaient exceptionnelles pour l'époque, ne tournait qu'à 42 tours par minute; le piston, de 1 mètre de diamètre, avait une course de 1 m. 80, ce qui lui donnait seulement une vitesse linéaire de 2 m. 50 par seconde.

En 1900, la machine exposée par MM. Paul et Augustin Farcot (fig. 268 à 276) développe, étant alimentée de vapeur à la pression de 7 kilogrammes par centimètre carré, 850 chevaux à l'admission normale de 1/10. L'admission peut varier dans des limites étendues; de 1/15 à 2/10, le rendement s'écarte peu du maximum; à 3/10, la puissance développée atteindrait 1,600 chevaux. Le nombre de tours par minute est 78,5, la vitesse linéaire du piston 3 m. 50 environ. La course se trouve ainsi fixée à 1 m. 35; le diamètre est de 1 mètre. Le cylindre affecte une forme passablement trapue.

Le tableau ci-après résume ces dimensions et vitesses :

$$D = 1^{m}\,00 \qquad \frac{L}{D} = 1.35$$
$$L = 1^{m}\,35$$
$$N = 78\ 1/2 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 3^{m}\,50$$

Le grand volant de la machine de 1889, qui ne mesurait pas moins de 10 mètres de diamètre pour une vitesse circonférentielle de 22 mètres par seconde, est ici remplacé par l'inducteur d'un alternateur à courants diphasés, donnant 835 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0.9; cet inducteur, du poids de 50 tonnes, mesure 5 m. 50 de diamètre extérieur, ce qui correspond sensiblement à la même vitesse circonférentielle : 22 m. 60 par seconde.

Le bâti Corliss, de forme très robuste, relie fortement l'un à l'autre le palier de manivelle et le cylindre; celui-ci est, d'autre part, simplement assis sur un support qui laisse à l'ensemble toute liberté de dilatation longitudinale. Les paliers sont à grands coussinets de fonte garnis de métal antifriction; les coussinets latéraux ont une liberté d'oscillation destinée à assurer la perfection de leur contact avec l'arbre. La lubrification dans les paliers a lieu par bagues roulantes. La bielle est à fourche et à tête ouverte. La crosse du piston est guidée dans le bâti par de larges glissières cylindriques. Il n'y a pas de contre-tige : le piston est traînant (fig. 274); il est à deux segments suédois de

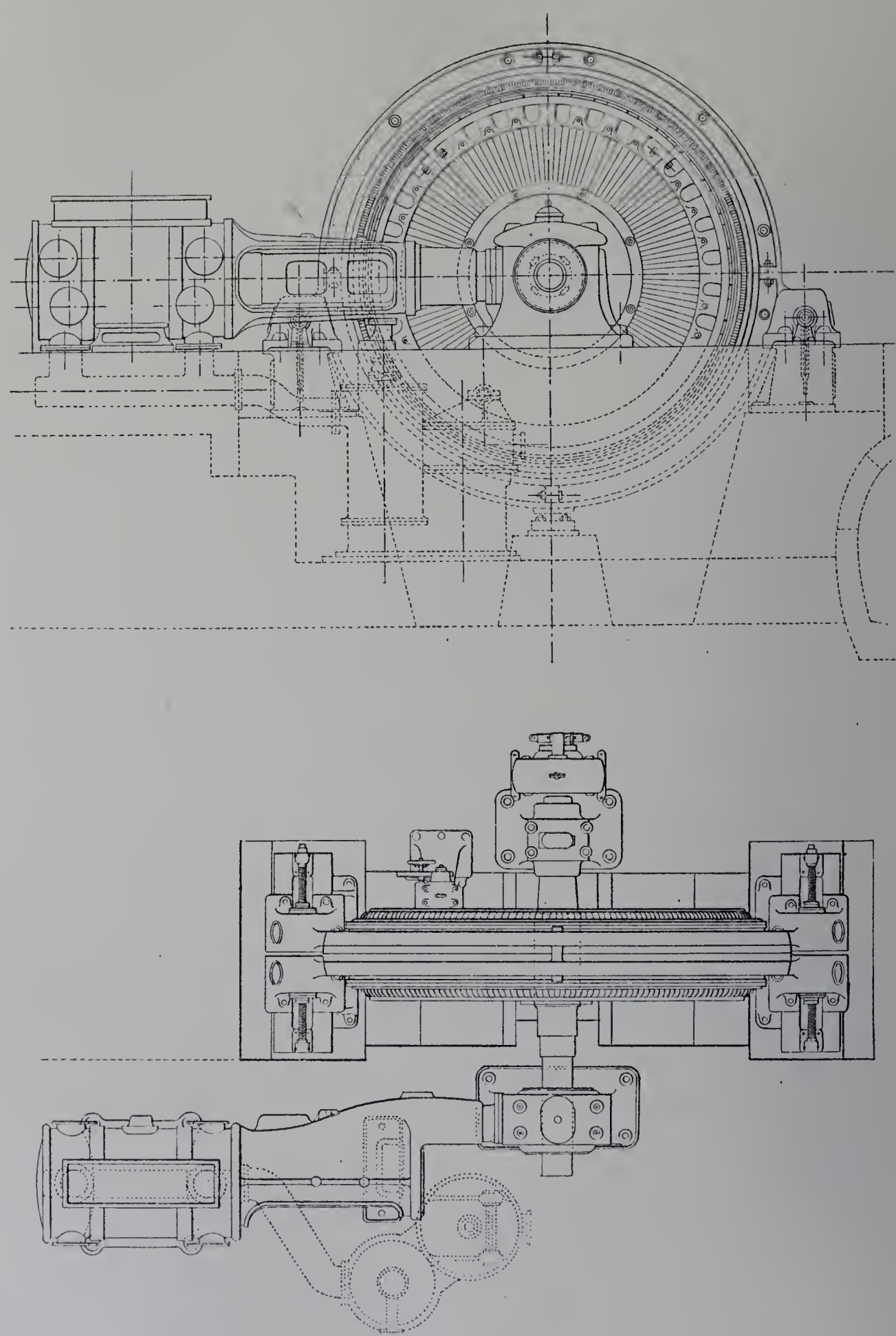


Fig. 268. — Ensemble du groupe électrogène de MM. P. et A. Farcot.

grande largeur et, pour qu'il soit guidé franchement par la partie inférieure du cylindre sans flexion de la tige, le presse-étoupe, à garniture métallique, est doué d'un léger jeu transversal. L'emmanchement du piston sur la tige a été effectué à froid, à la presse

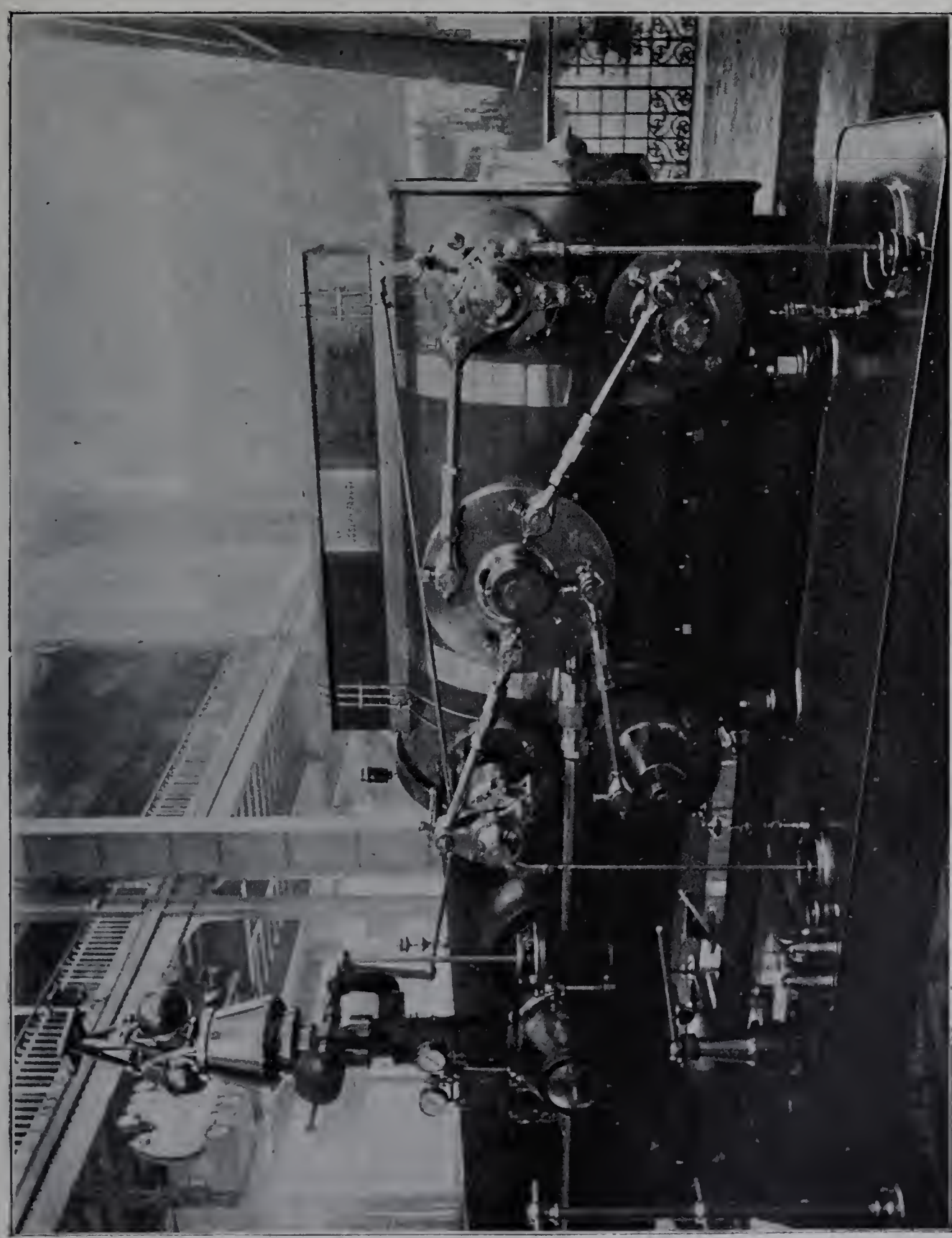


Fig. 269. — Vue de la machine Farcot.

hydraulique; la stabilité de l'emmanchement est assurée par un écrou noyé, rivé en place.

Afin de réduire au minimum les espaces nuisibles, les tiroirs, même ceux d'admission, sont logés dans les fonds. Chacun des tiroirs d'échappement fait partiellement

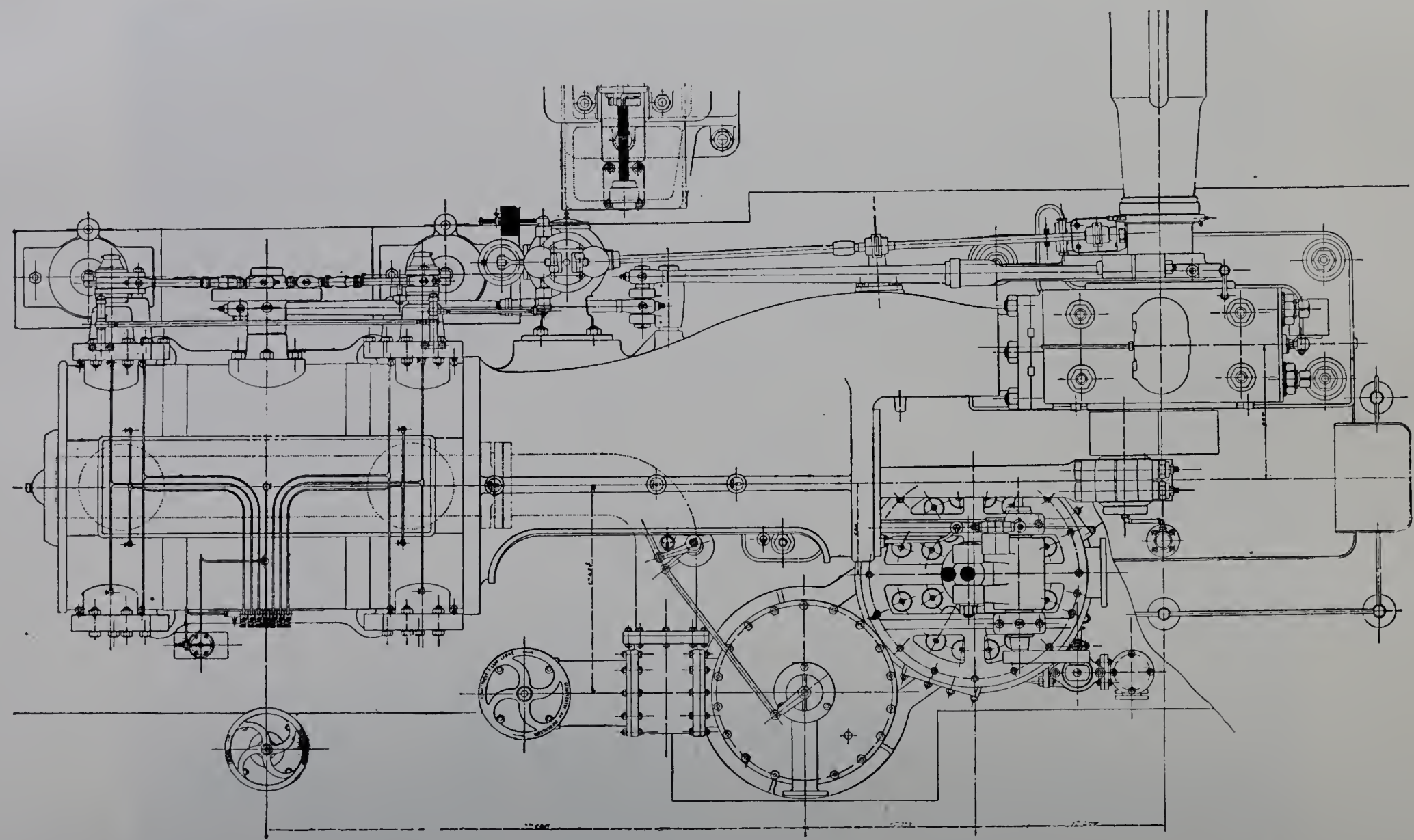


Fig. 270. — Machine Farcot. — Plan.

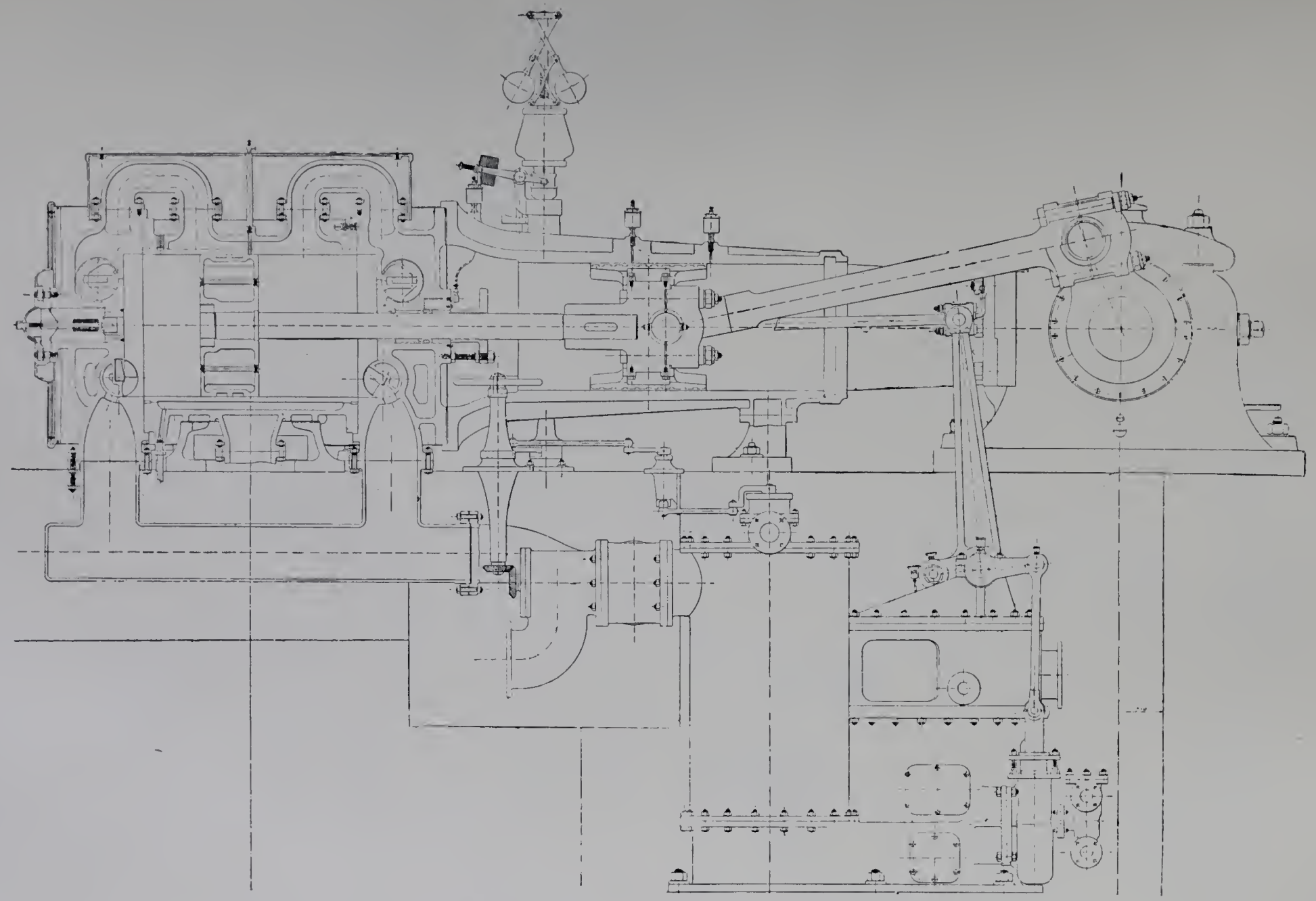


Fig 271. — Machine Farcot. — Elévation avec coupe du cylindre.

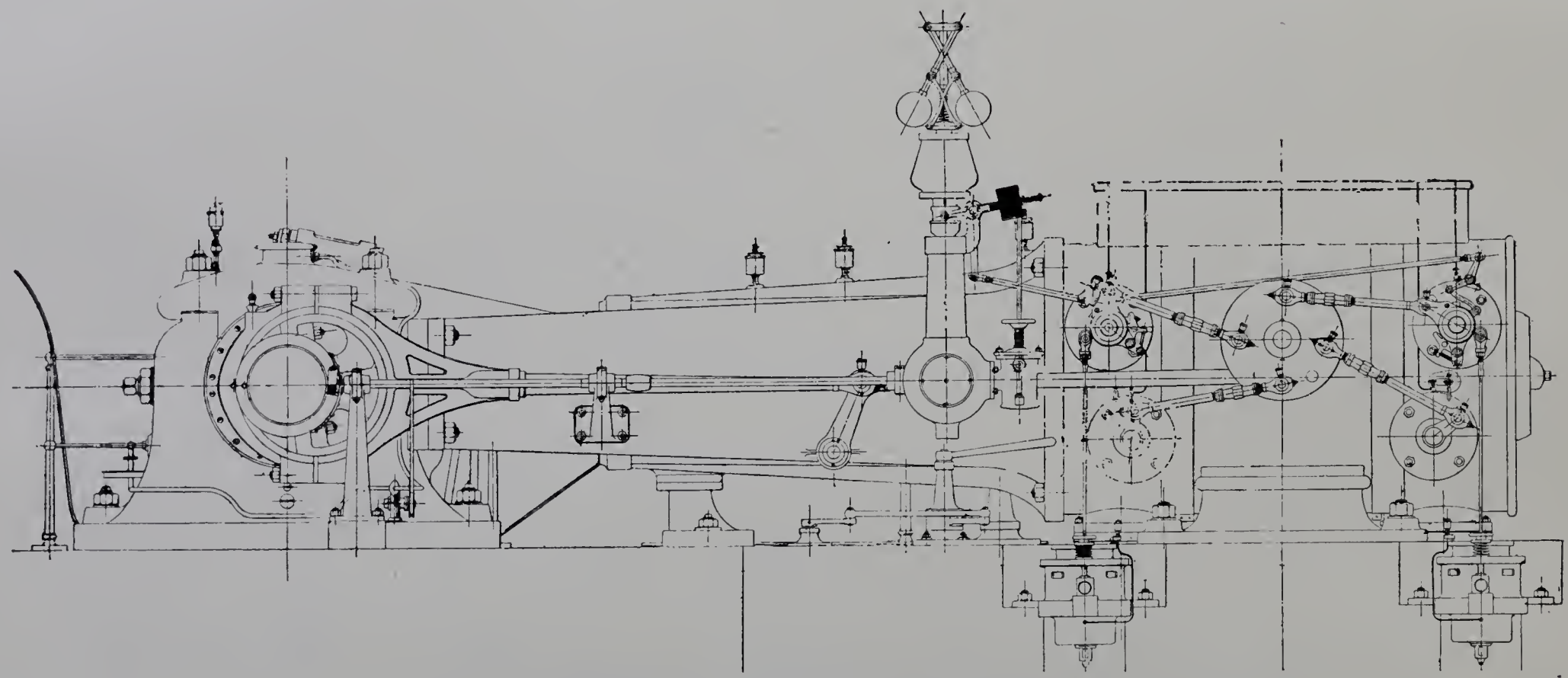


Fig. 272. — Machine Farcot. — Élévation du côté de la distribution

saillie à l'intérieur du cylindre lorsqu'il est ouvert; il s'efface à l'approche du piston. Les soins apportés à la construction permettent de faire venir, en fin de course, le piston très près des fonds, sans compromettre le rattrapage du jeu. Ces diverses dispositions ont permis de réduire à 1 p. 100 l'espace nuisible.

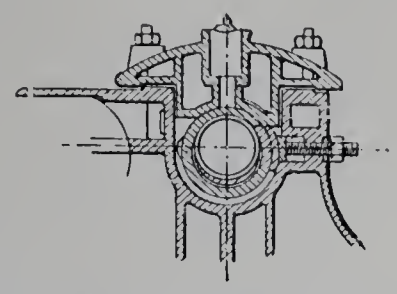


Fig. 273. — Coupe du palier de manivelle.

Le cylindre est à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour. Il est formé de quatre pièces : la chemise intérieure, en fonte spéciale, l'enveloppe cylindrique et les couvercles creux; les joints de la chemise avec l'enveloppe sont garnis de bagues de cuivre. La conduite de vapeur débouche dans l'enveloppe cylindrique; la vapeur vive passe de là dans les fonds au moyen de communications extérieures, placées à la partie supérieure du cylindre, et c'est dans les fonds que les lumières d'admission la puisent. Pour l'élimination de l'eau de condensation, l'enveloppe cylindrique est continuellement asséchée par une pompe de purge; les fonds sont munis de purgeurs automatiques.

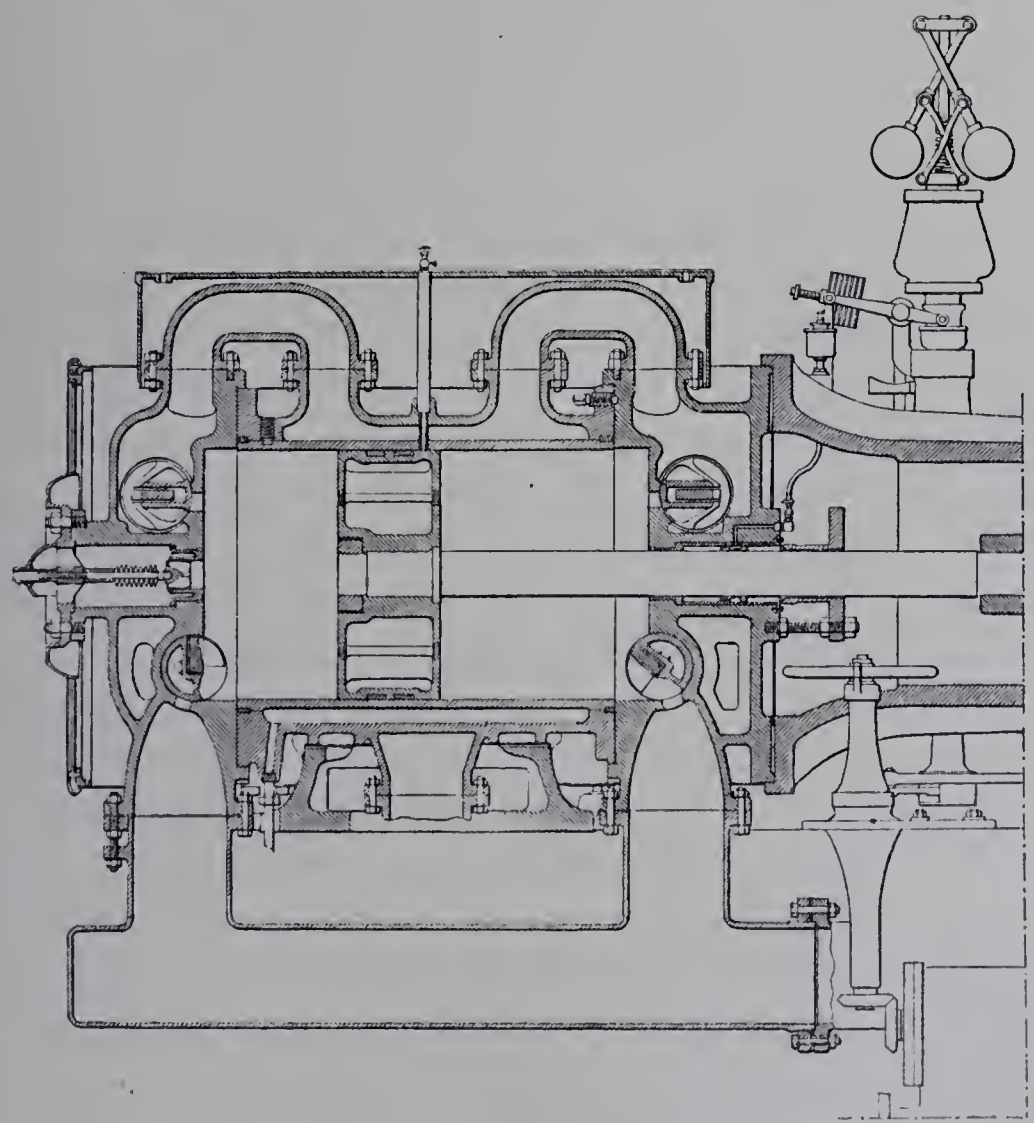


Fig. 274. — Coupe longitudinale du cylindre.

Chacun des axes de tiroir fait saillie au dehors en passant dans un orifice contre lequel la pièce se trouve appuyée par la différence des pressions; une bague d'acier assure l'étanchéité de l'épaulement.

Le mécanisme de distribution, abstraction faite du déclic, est commandé, comme on l'a déjà vu (fig. 241, p. 250), par un plateau oscillant placé dans le rectangle des quatre axes de tiroirs; l'axe du plateau est un peu au-dessus du centre de ce rectangle. De ce plateau oscillant, commandé par un excentrique, partent quatre bielles, dont la longueur est rendue minimum par la position centrale du plateau, et qui vont actionner les quatre obturateurs; chaque bielle est formée de deux tronçons reliés par un manchon à deux filetages inverses, afin que la longueur en puisse être exactement réglée.

Pour les tiroirs d'échappement, le mécanisme est naturellement à liaisons complètes : la bielle de commande aboutit au bouton d'une courte manivelle fixée sur l'axe du tiroir. Pour celle des deux positions extrêmes du plateau oscillant qui correspond à la fermeture du tiroir, les deux têtes de la bielle et l'axe du plateau sont sensiblement en ligne droite : la position correspondant à l'alignement exact est même légèrement dépassée. Par conséquent, lorsque le plateau se meut à partir de cette position extrême, le mouvement du tiroir commence par être presque nul. Puis il s'accélère rapidement. Au début, la lumière reste fermée à cause du recouvrement; quand le tiroir arrive bord à bord avec la lumière, ce qui est le commencement de l'échappement anticipé, le déplacement a déjà pris une allure vive. La lumière se trouve très promptement découverte en grand. Les rayons d'excentricité sont choisis de manière que, lorsque le plateau arrive à la fin de sa demi-oscillation, la position du tiroir nécessaire à l'ouverture en grand de la lumière soit non seulement atteinte, mais dépassée. Ensuite, au cours du mouvement de retour, la lumière se referme progressivement; elle est complète quand le tiroir revient bord à bord avec elle, ce qui est le commencement de la compression. La position angulaire du bord du tiroir par rapport au rayon de la manivelle de commande, et l'angle de calage de l'excentrique qui fait mouvoir le plateau oscillant, sont choisis de manière à donner les valeurs convenables aux phases d'échappement anticipé et de compression.

Emprunté au même plateau oscillant, le mouvement de chacun des tiroirs d'admission peut être réglé d'une manière analogue en ce qui concerne l'instant où commence l'ouverture du tiroir (début de l'admission anticipée) et l'allure rapide de cette ouverture. On ne dispose plus, il est vrai, de l'angle de calage de l'excentrique commandant le plateau oscillant, mais on dispose encore de la position angulaire du bord du tiroir par rapport au rayon de la manivelle de commande, ce qui suffit pour régler à volonté le commencement de l'admission anticipée. Quant à la fin de l'admission, elle ne serait pas arbitraire dans ces conditions si elle devait être produite, comme celle de l'échappement, par le mécanisme à liaisons complètes. Mais ici intervient le système du déclic. Le mécanisme à liaisons complètes est disposé de manière à produire, s'il agissait seul, une longue admission, dont la durée exacte importe peu. A l'instant où doit commencer la détente, le tiroir se trouve libéré et est ramené vivement à la position de fermeture par un rappel pneumatique.

Nous avons dit qu'il est bon, dans les déclenchements de ce genre, de réduire le plus possible la masse libérée. Dans les machines Farcot, cette masse est celle du tiroir, sans autre addition que la partie mobile du dispositif de rappel. Celui-ci est constitué par un

cylindre à vide placé au pied de la machine, en contre-bas du plancher, et dont le piston est relié au tiroir par l'intermédiaire d'une tige de traction verticale. Le mouvement de fermeture s'éteint sur un matelas d'air, dans un *dash-pot* à action réglable; ce *dash-pot* est disposé de manière que le commencement du mouvement d'ouverture ait lieu sans résistance.

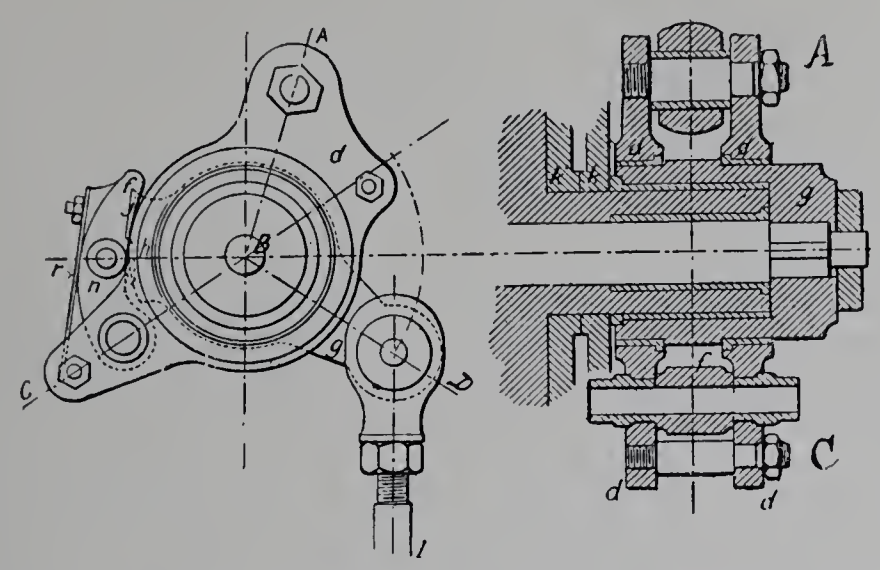


Fig. 275. — Commande d'un tiroir d'admission. — Élévation et coupe par ABC.

Le mécanisme de déclenchement (fig. 275 et 276) se compose de deux pièces oscillantes *d* et *g*, toutes deux tourillonnées sur l'axe du tiroir. L'une d'elles, *g*, est solidaire de celui-ci : c'est à elle qu'est attelée en D la tringle *l* du mécanisme de rappel. Lorsque le tiroir se déplace dans le sens de l'ouverture, cette première pièce est donc constamment sollicitée en sens inverse par l'action pneumatique; mais elle est entraînée par l'action de la pièce *d*. Celle-ci reçoit un mouvement alternatif de la bielle venant du plateau oscillant et attelée en A : elle constitue l'organe terminal du mécanisme à liaisons complètes : nous l'appellerons la pièce menante, tandis que la première est la pièce menée.

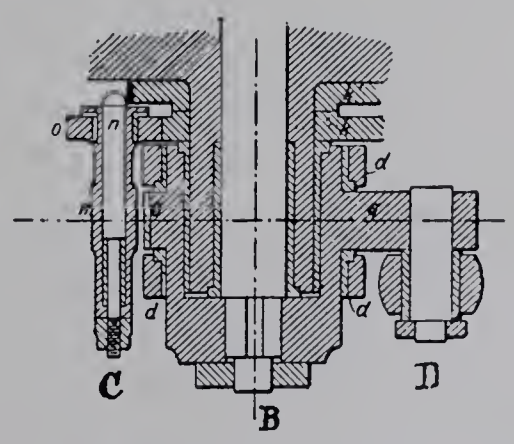


Fig. 276. — Coupe par *n*BD de la fig. 275.

L'enclenchement entre ces deux pièces est produit par la mise bout à bout de deux plaquettes d'acier dur, l'une, fixée sur la pièce menée, l'autre, portée par un cliquet *f* articulé sur la pièce menante. Celui-ci est constamment sollicité par un ressort *r* à se rapprocher de l'axe du système, c'est-à-dire à se mettre dans la position pour laquelle l'enclenchement a lieu. Mais la solidarité entre les deux pièces se trouve détruite si la manette d'enclenchement est écartée contrairement à l'action de ce ressort.

Tant que l'admission n'a pas à dépasser les 35/100 de la course du piston (en fait, comme nous l'avons dit, la marche la plus économique a lieu pour les admissions voisines de 1/10), c'est pendant la course d'aller du mécanisme de commande, c'est-à-dire pendant que le tiroir se déplace dans le sens de l'ouverture, que le déclenchement doit

intervenir. Dans ces conditions, rien de plus simple que d'écarter le cliquet à point nommé : il suffit de lui présenter en permanence un obstacle fixe, une came, que viendra rencontrer un galet roulant *o* porté par le cliquet. Cette came, profilée de manière à écarter doucement le galet, fait partie d'un excentrique à onde *k* tourillonné, lui aussi, sur l'axe du tiroir, et dont la position dépend du régulateur à force centrifuge.

Mais on peut avoir à couper l'admission à plus de 35/100 de la course. Dans ce cas, le régulateur à force centrifuge place l'excentrique à onde dont nous venons de parler dans une position telle que le galet n'en rencontre plus la came; cette came ne joue donc plus aucun rôle. C'est pendant le mouvement de retour du mécanisme de commande, alors que le tiroir se déplace déjà dans le sens qui le rapproche de la position de fermeture, que le cliquet doit se trouver écarté de manière à produire le déclenchement. La difficulté est que ceci doit avoir lieu pour une position que le cliquet a déjà occupée au cours du mouvement d'aller; il faut que, lorsqu'il passe par cette position, il ne se trouve pas écarté s'il se meut dans un sens et se trouve écarté dans le sens contraire.

A cet effet, il porte un doigt saillant *n*, normal au plan d'oscillation du système. Ce doigt, mobile suivant son axe, peut faire plus ou moins saillie, ou au contraire rentrer dans sa gaine; un ressort le sollicite constamment à faire saillie. Dans le mouvement d'oscillation de la pièce menante, l'extrémité du doigt décrit un arc de cercle devant un deuxième excentrique à onde *k'*, dont la position, comme celle du premier, dépend du régulateur à force centrifuge. Lorsqu'il y a lieu d'effectuer le déclenchement pendant le mouvement de retour du mécanisme, cet excentrique se place de manière que sa came soit rencontrée par le doigt. Mais les choses ne se passent pas de même pendant le mouvement d'aller et pendant le mouvement de retour. Pendant le mouvement d'aller, ce que le doigt rencontre est un plan incliné à faible pente, suivant lequel est taillée la joue latérale de la came; il se trouve progressivement repoussé dans sa gaine, sans que rien tende à écarter le cliquet. La came une fois dépassée, le doigt se trouve libéré et reprend la position saillante. Arrive le mouvement de retour : lorsque le doigt saillant revient au droit de la came, il bute latéralement contre le profil bossué de celle-ci et se trouve écarté ainsi que le cliquet : le déclenchement se produit. Ce système de détente est susceptible d'agir jusqu'aux 8/10 de la course.

Les déplacements de l'attirail du régulateur à force centrifuge modifient les calages des deux excentriques à onde *k* et *k'* en sens inverse l'un de l'autre. Les positions des pièces sont telles qu'il n'y a jamais qu'un seul de ces excentriques à la fois qui soit rencontré, soit par le galet *o*, soit par le doigt à ressort *n*.

On a profité des organes du déclenchement pour constituer aussi un mécanisme de sécurité contre une cause d'emballement de la machine : dans le cas où l'attirail du régulateur, par suite d'un dérangement, tomberait à une position permettant une introduction excessive, l'excentrique à onde viendrait, par une bosse spéciale, soulever le galet *o* et le cliquet se trouverait écarté de manière à supprimer complètement l'admission.

Tout ce mécanisme est très fortement constitué. Pour éviter les porte-à-faux, la pièce menante est composée de deux flasques, embrassant la pièce menée; c'est entre ces flasques

que vient s'articuler la bielle de commande et que se trouve disposé le cliquet. Le galet *o* a reçu un diamètre assez grand pour bien rouler sur l'excentrique à onde. Les axes et toutes les pièces dont la forme gouverne le système de détente sont en acier de première qualité, trempées et rectifiées sur la meule d'émeri.

Le régulateur est du système Farcot à bras croisés, avec une lourde masse axiale partiellement équilibrée par un levier à contrepoids. Une cataracte complète le système. Le déplacement du contrepoids modifie la relation entre la vitesse et le travail par tour, ce qui permet d'amener l'alternateur au synchronisme pour le mettre en parallèle avec d'autres et, après qu'il est accroché, de régler sa quote-part de la charge totale.

MM. E. Garnier et Faure-Beaulieu. — L'ancienne maison H. Lecouteux et Garnier, actuellement Émile Garnier et Faure-Beaulieu, reste attachée plus exactement encore, lorsque les données du programme s'y prêtent, aux dispositions classiques du système Corliss. C'est ainsi qu'elle expose une machine horizontale de 500 chevaux environ, actionnant une dynamo à courant continu de 350 kilowatts, type Thomson-Houston, des Établissements Postel-Vinay; toutes les dispositions générales de ce moteur sont du type Corliss traditionnel, y compris le mécanisme de déclenchement à lame de sabre (fig. 277 à 279). La vitesse de rotation est de 90 tours par minute, allure aisément compatible avec le fonctionnement du déclic. Le cylindre est allongé et la vitesse moyenne du piston atteint 3 m. 60 par seconde, comme le montre le tableau suivant :

$$D = 0^{m}\,71 \qquad \frac{L}{D} = 1.7$$
$$L = 1^{m}\,20$$
$$N = 90 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 3^{m}\,60$$

La puissance de 500 chevaux correspond, avec de la vapeur à la pression effective de 7 kilogrammes par centimètre carré, à une admission normale de 1/8. L'admission peut être poussée jusqu'à 0.7.

La machine est munie d'un volant mesurant 5 mètres de diamètre, ce qui fait 22 mètres de vitesse périphérique, et pesant 18 tonnes; à ce volant est juxtaposé l'induit, d'un diamètre de 1 m. 60 et d'un poids de 10 tonnes. L'arbre portant ces deux pièces tourne dans deux paliers distants de 3 m. 60 d'axe en axe; il mesure 0 m. 45 de diamètre dans sa partie milieu. Sur son extrémité est emmanché un plateau circulaire, dans lequel le bouton de manivelle est calé à la presse hydraulique.

Le bâti à baïonnette, reliant le palier de manivelle au cylindre, guide la crosse sur une glissière à section angulaire. Le piston n'est pas traînant, mais flottant : il est soutenu par une tige et une contre-tige; tourné à 1 millimètre de moins que le cylindre, il est muni d'anneaux de garniture à la manière ordinaire.

Les tiroirs d'échappement sont logés à la partie inférieure des fonds; ceux d'admission sont placés à la jonction de ces mêmes fonds et de la génératrice supérieure du cylindre. L'espace nuisible ne dépasse pas 1.25 p. 100.

Le cylindre est à enveloppe de vapeur sur son pourtour. Il est formé de trois pièces :

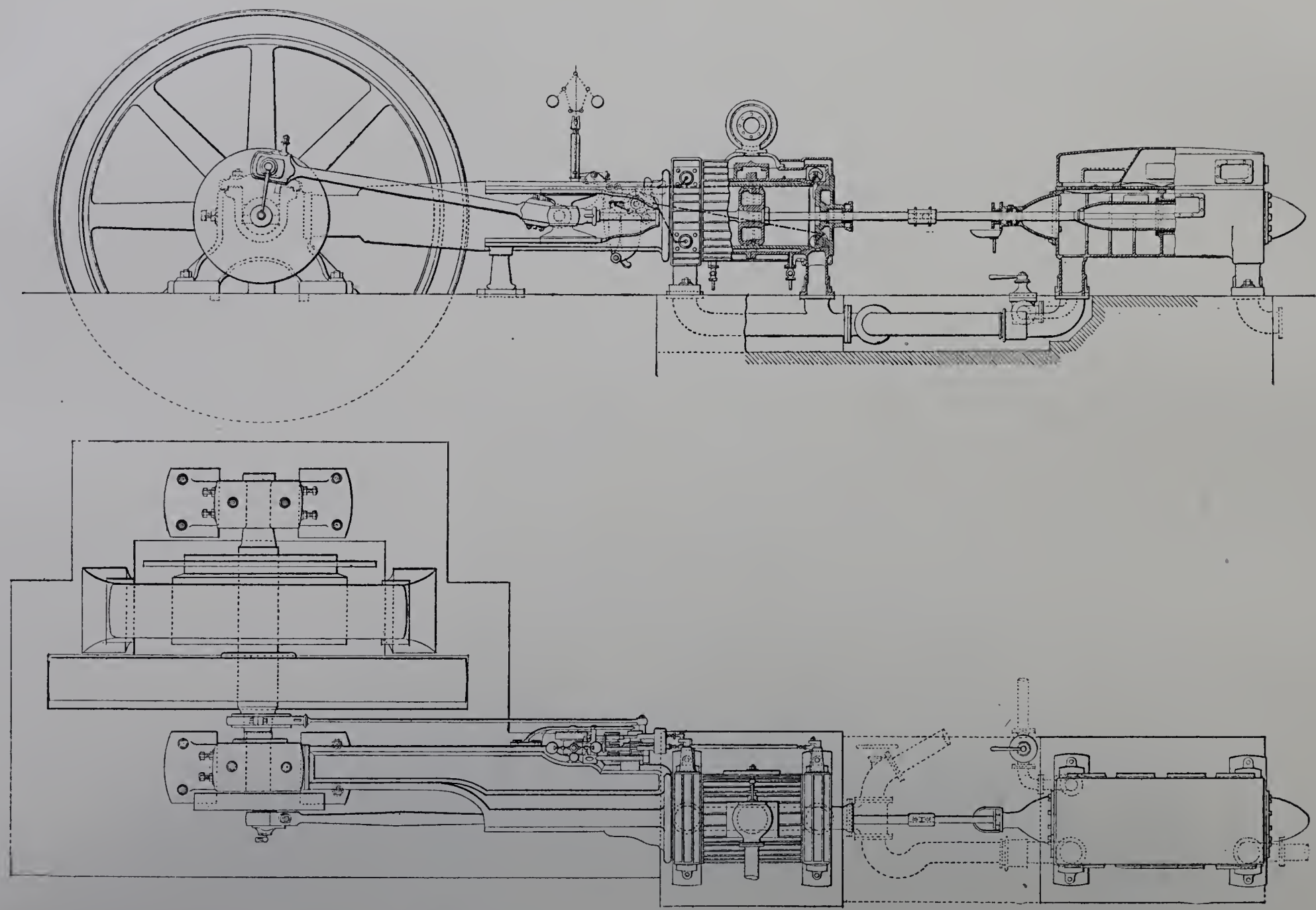


Fig. 277. — Machine de 500 chevaux, type Corliss, de MM. E. Garnier et Faure-Beaulieu.

la chemise intérieure et deux moitiés d'enveloppe, comprenant chacune un fond et réunies par un joint boulonné suivant le plan transversal médian; ces deux pièces ont

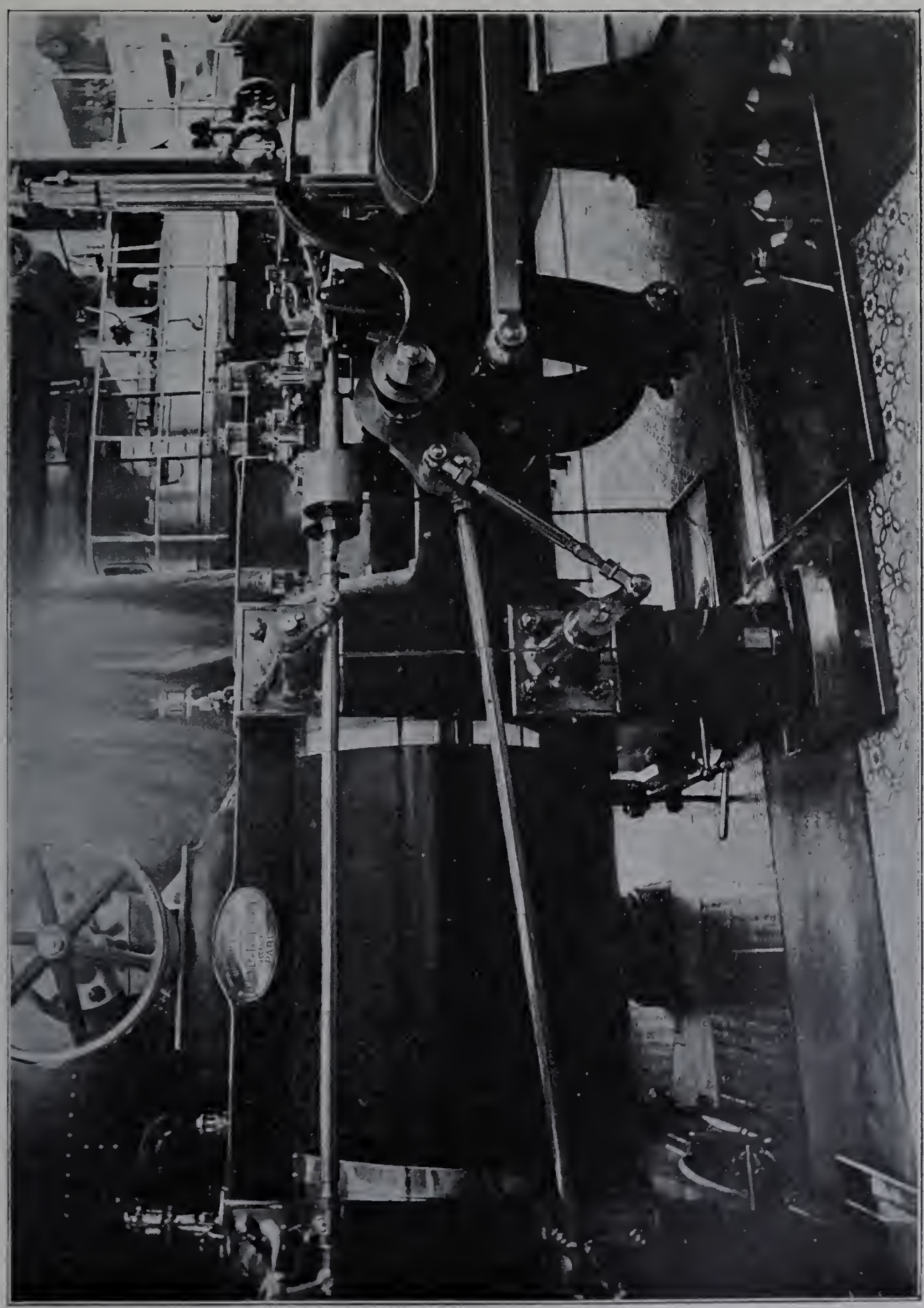


Fig. 278. — Machine Corliss de 500 chevaux (MM. Garnier et Faure Beaulieu). Vue du cylindre, prise du côté du mécanisme de distribution.

été emboîtées sur la chemise à la presse hydraulique. L'enveloppe est en communication par le haut avec l'arrivée de vapeur, et purgée par le bas; elle ne reçoit que de la

vapeur non graissée, de sorte que l'eau de condensation est bonne à renvoyer aux chaudières.

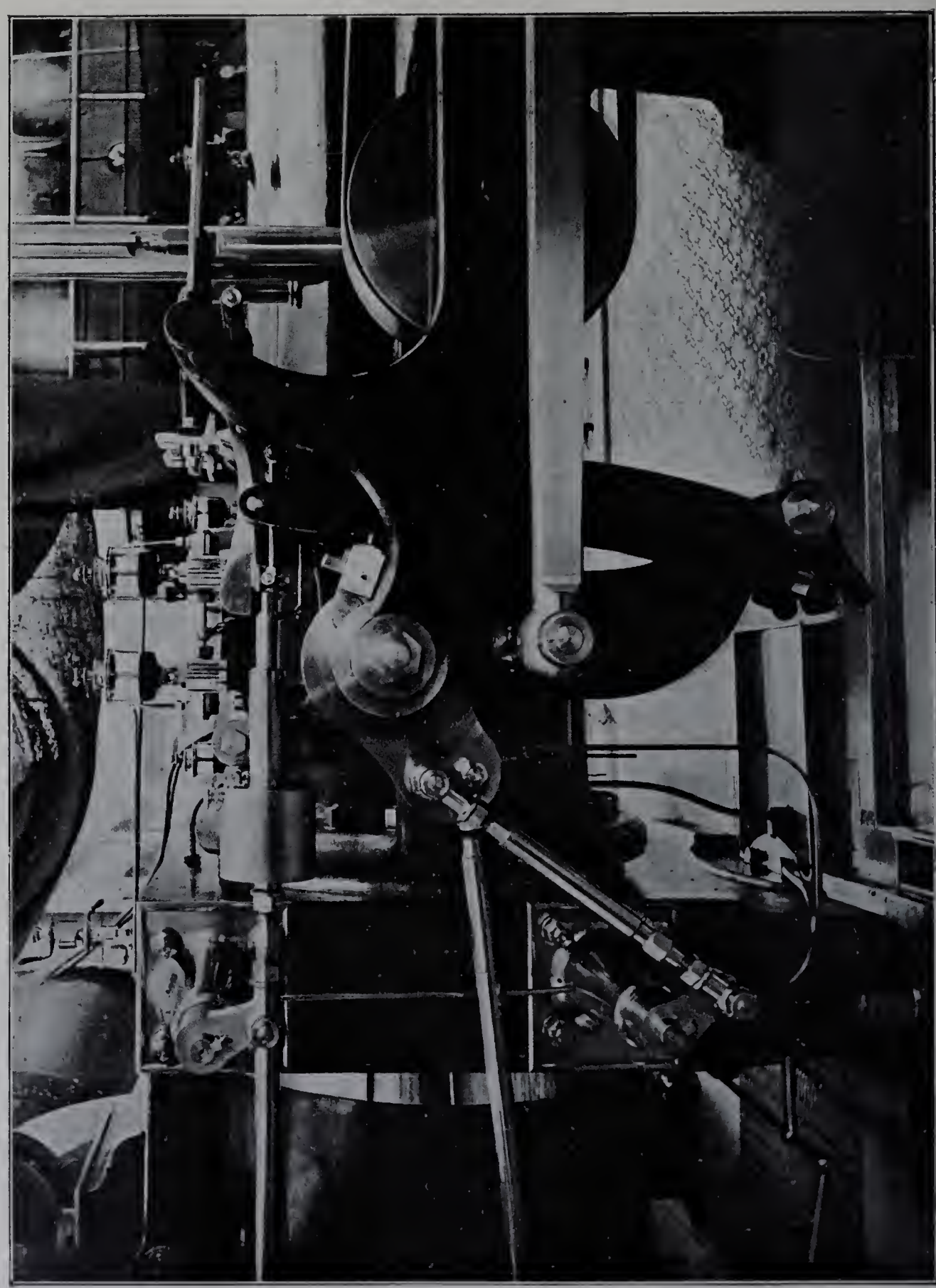


Fig. 279. — Détail de la distribution Corliss à lames de sabre. (Machine de 500 chevaux de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.)

Le mécanisme de distribution est gouverné par une pièce oscillante placée en avant du cylindre. De cette pièce partent, pour la commande de l'échappement, des bielles obliques réalisant le mouvement à vitesse variable qui caractérise les distributions de

ce genre et que nous avons déjà observé dans la machine Farcot. Pour l'admission, la pièce oscillante fait mouvoir, au moyen de courtes bielles, deux longs balanciers verticaux. Chacun de ces balanciers correspond à l'un des tiroirs d'admission : si le mécanisme était à liaisons complètes, le sommet du balancier n'aurait qu'à être relié à une tige de transmission horizontale articulée à son autre extrémité sur la manette du tiroir. La tige de transmission existe; mais, comme il faut un déclenchement, son extrémité n'est pas liée au balancier, mais bien à l'extrémité d'une longue lame de ressort logée entre les deux flasques dont celui-ci se compose. Le ressort tend continuellement à rappeler le tiroir à la position de fermeture; un *dash-pot* interposé sur la tige de transmission adoucit la fin du rappel. Pour le mouvement d'ouverture, l'extrémité de la tige de transmission, armée d'une touche en acier dur, est poussée par une contre-touche, dont est armé le nez d'une pièce à bascule articulée au sommet du balancier. C'est la disposition dont le croquis a été donné par la figure 240, page 250. Un ressort tend constamment à abaisser le nez de la bascule et c'est ce qui assure l'enclenchement. Pour déclencher, il suffit de relever la tête de la bascule en appuyant sur son autre extrémité.

C'est ce qui se trouve fait, à point nommé, par suite de la rencontre de celle-ci avec un butoir porté par une brimballe, dont la position dépend du régulateur à force centrifuge.

On reconnaît, jusqu'ici, le mécanisme ancien et classique de Corliss. Il permet de couper l'admission pendant que le balancier et sa bascule se déplacent dans le sens qui correspond à l'ouverture du tiroir, c'est-à-dire jusqu'aux 3/10 de la course. Pour les admissions plus longues, la maison Garnier a, de longue date, ajouté un dispositif spécial, permettant de couper l'admission pendant le mouvement de retour. A cet effet, la brimballe porte, en outre du butoir qui sert pour les admissions courtes, une palette oblique sous laquelle va et vient un taquet à ressort porté par la bascule. Ce taquet peut être effacé par la palette, si celle-ci appuie sur lui; mais il tend constamment à faire saillie sous l'action de son ressort. Lorsque la brimballe occupe l'une des positions auxquelles doit correspondre une admission comprise entre 3/10 et 7/10, le taquet, pendant le mouvement d'aller de la bascule, est d'abord effacé par la palette, mais il la dépasse et se redresse; dans le mouvement de retour, il bute contre sa tranche et le basculement se produit.

Enfin, à titre de dispositif de sécurité, la brimballe porte un talon qui, en cas de chute de l'attirail du régulateur, soulèverait la bascule et supprimerait toute admission.

Le régulateur est du type classique de Watt et commandé par courroie.

Pour les grandes puissances, MM. Garnier et Faure-Beaulieu ne s'en tiennent pas au système monocylindrique.

C'est ainsi qu'ils construisent, pour une importante usine d'électricité de la banlieue de Paris, des machines compound à cylindres parallèles, de 1,500 chevaux, dont un modèle à échelle réduite figure à l'Exposition.

D'autre part, en recourant à des dispositions spéciales et nouvelles, ces constructeurs

IMPRIMERIE NATIONALE.

poussent l'application de la détente par déclenchement jusqu'à la vitesse de 150 tours par minute. Ils exposent, dans ce système, une machine verticale de 180 chevaux (avec

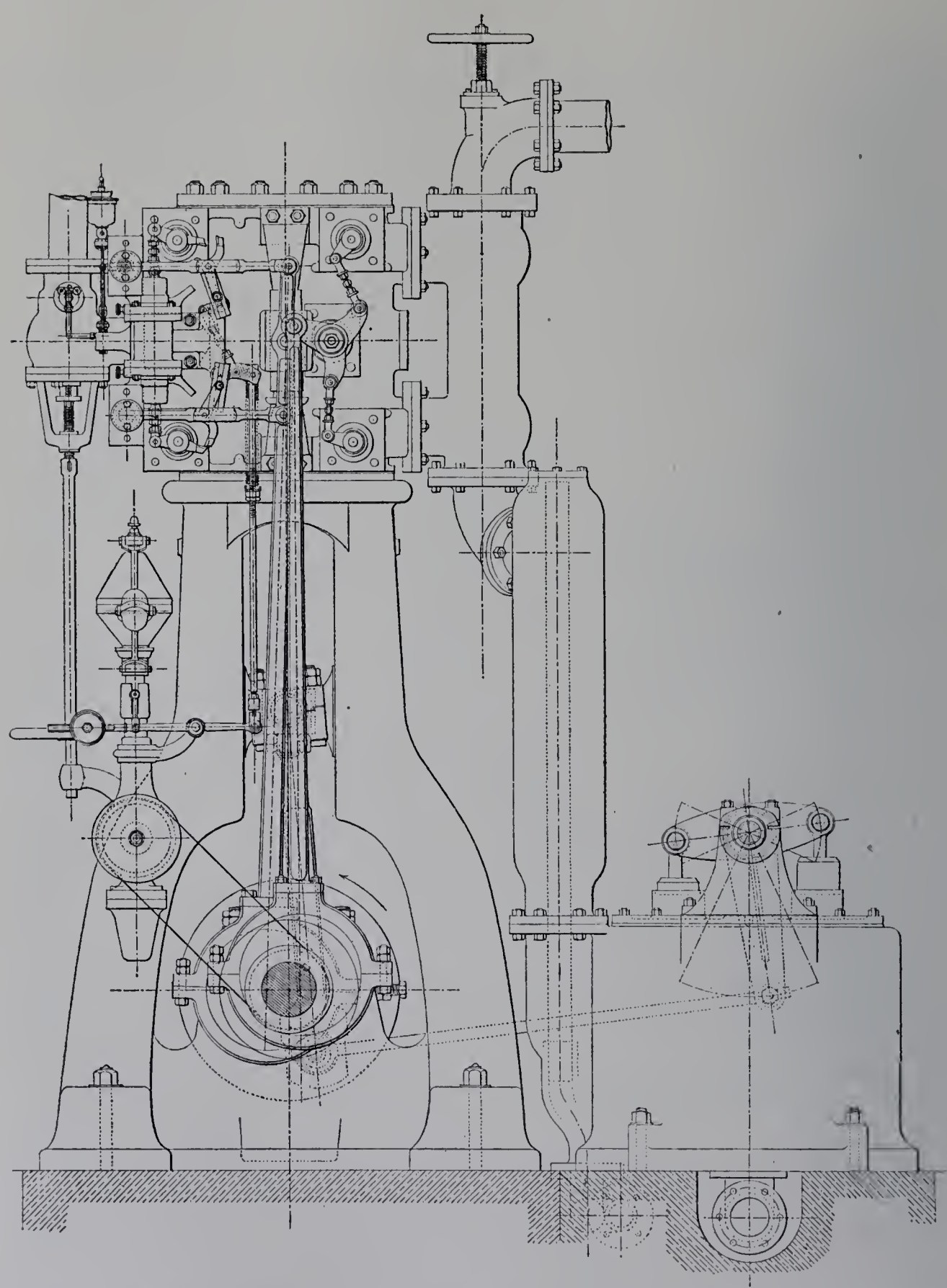


Fig. 280. — Machine verticale de 180 chevaux à 150 tours par minute, avec détente par déclenchement, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu. — Elévation latérale.

pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré et un huitième d'admission) dont les figures 280 à 283 montrent les principales dispositions.

Le tableau ci-après en résume les données :

$$D = 0^{m}53 \qquad \frac{L}{D} = 0.85$$
$$L = 0\ 45$$
$$N = 150 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^{m}25$$

Grâce à la petitesse de la course, l'accélération maximum du piston ne dépasse pas 55 m : s².

Le cylindre est monté sur un bâti à glissières alésées, avec lequel un seul palier fait corps. L'arbre est droit et disposé comme celui d'une machine à bâti en baïonnette,

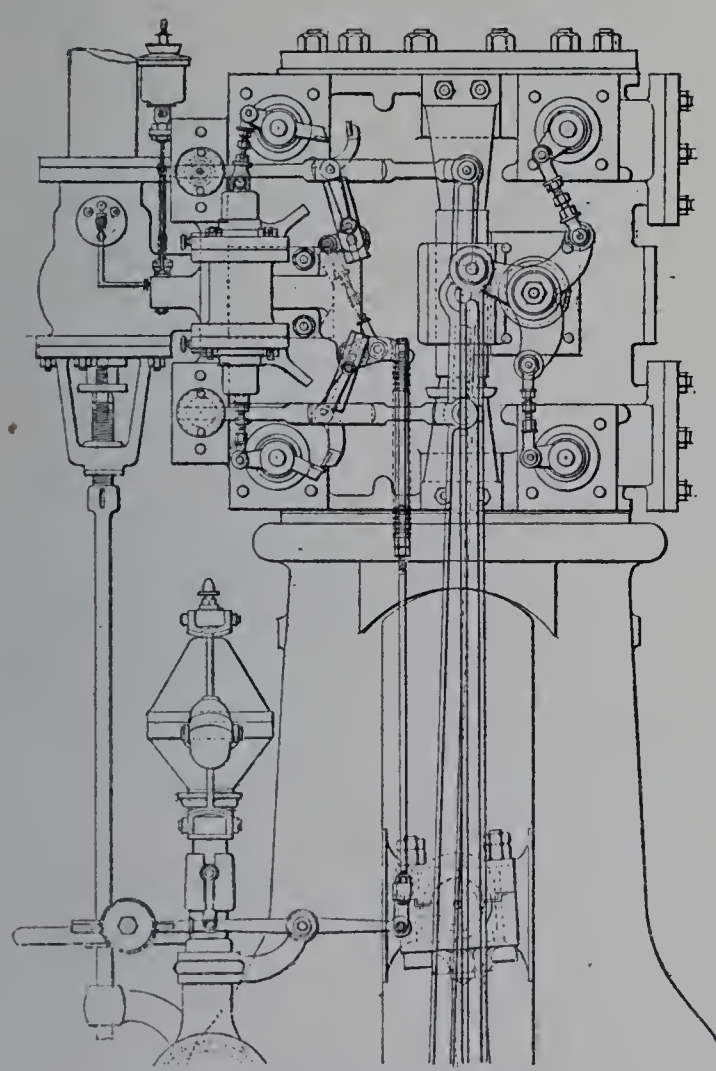


Fig. 281. — Détail de la distribution.

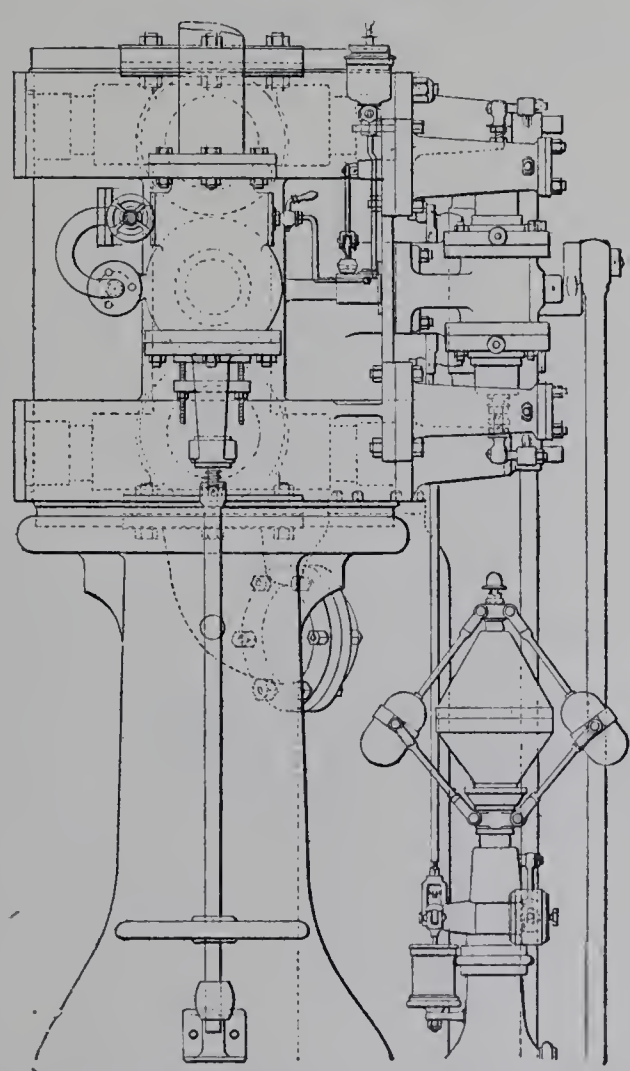


Fig. 282. — Élévation de face du cylindre.

c'est-à-dire qu'il est assujetti d'une part dans le palier ci-dessus, auprès duquel il se termine par un plateau-manivelle, d'autre part dans un second palier qui en supporte l'extrémité libre. Les deux paliers sont écartés de 1 m. 725 d'axe en axe; entre eux est calée la poulie-volant.

Le cylindre, enveloppé de vapeur vive, est en relation d'un côté avec l'arrivée de vapeur et de l'autre avec une double tubulure d'échappement qui peut à volonté être ouverte vers le condenseur ou vers l'atmosphère.

La distribution, faite au moyen de quatre tiroirs Corliss, est commandée par deux excentriques indépendants, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement. L'excen-

trique d'échappement fait osciller un balancier en forme de levier à trois branches, d'où partent deux bielles obliques allant aux tiroirs, selon la disposition ordinaire. L'excentrique d'admission fait osciller, auprès de chacun des deux tiroirs admetteurs, un balancier rectiligne dont la position moyenne est horizontale et vers le milieu duquel est articulée la touche menante.

Celle-ci est à mouvement composé : elle forme la tête d'un petit levier dont la queue est une coulisse guidée par un coulisseau fixe ; la trajectoire de son arête active est une courbe allongée dont la forme et l'orientation dépendent de la position du coulisseau.

Tout en poussant la manette du tiroir, la touche menante prend donc par rapport à elle un mouvement de glissement. Lors du déclenchement, le rappel de la manette est produit par un fort ressort à boudin, avec frein par un *dash-pot* à air dont une ouverture à pointeau permet de modérer l'intervention. Les deux *dash-pots*, l'un correspondant au tiroir d'admission du haut, l'autre à celui du bas, sont superposés en un appareil unique; un même ressort à boudin, reliant les pistons à air, sert pour les deux rappels (fig. 283).

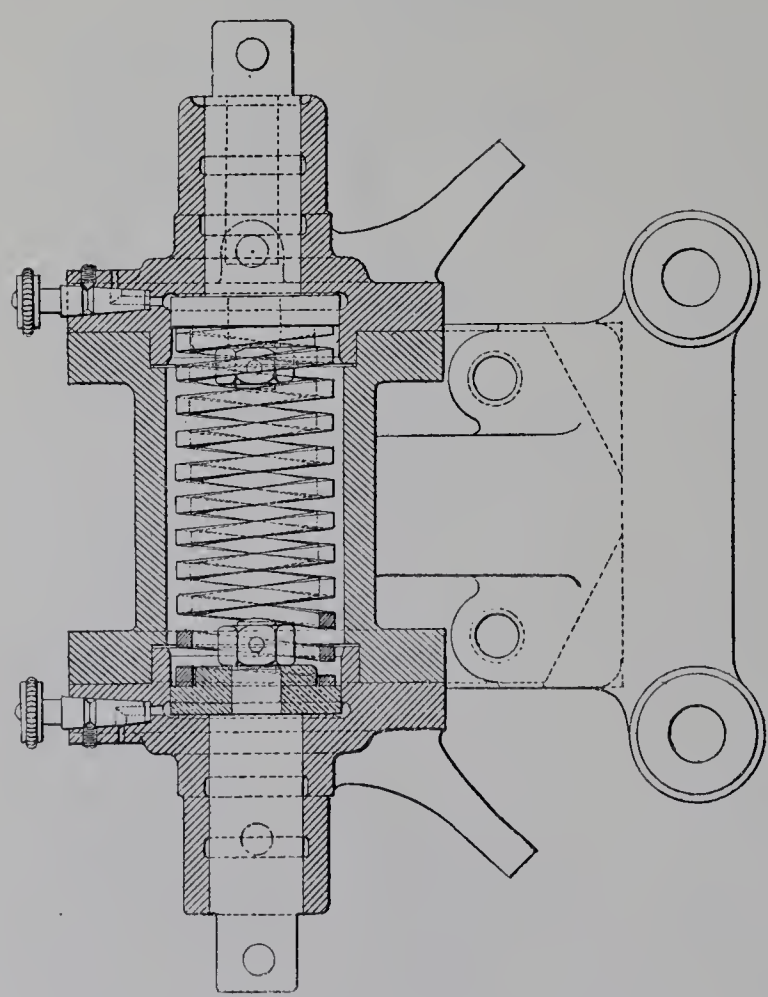


Fig. 283. — Ressort de rappel et freins à air des distributeurs d'admission.

Les deux coulisseaux, gouvernant respectivement le déclenchement des deux tiroirs, sont sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge du type Porter. L'admission est susceptible de varier de zéro à 70 p. 100.

On voit que la masse libérée par le déclic se réduit au tiroir et au léger piston du *dash-pot;* la tige qui les réunit est de longueur insignifiante; l'ensemble se prête bien à un jeu rapide.

Au-dessus de 150 tours par minute, MM. Garnier et Faure-Beaulieu abandonnent le procédé du déclic, mais ne renoncent pas pour cela aux autres dispositions du système Corliss.

Suivant une disposition qu'ils avaient déjà présentée en 1889, leur exposition comprend une machine monocylindrique horizontale de 135 chevaux tournant à 160 tours par minute, dont la distribution est donnée au moyen de quatre robinets oscillant sous l'action d'un mécanisme à liaisons complètes (fig. 284 et 285). Le cylindre est de forme ramassée, de sorte que cette vitesse de rotation ne fait cheminer le piston

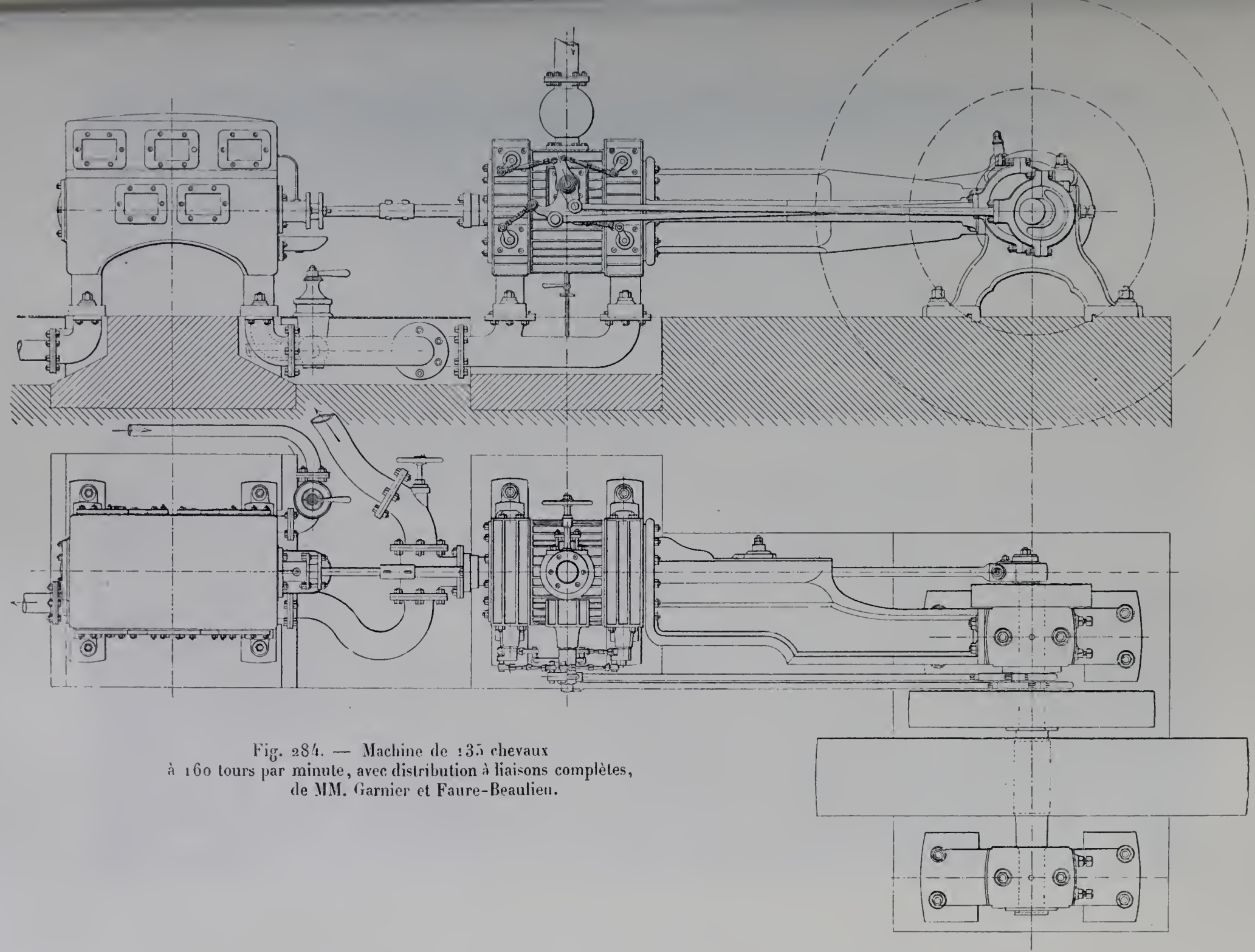


Fig. 284. — Machine de 135 chevaux
à 160 tours par minute, avec distribution à liaisons complètes,
de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

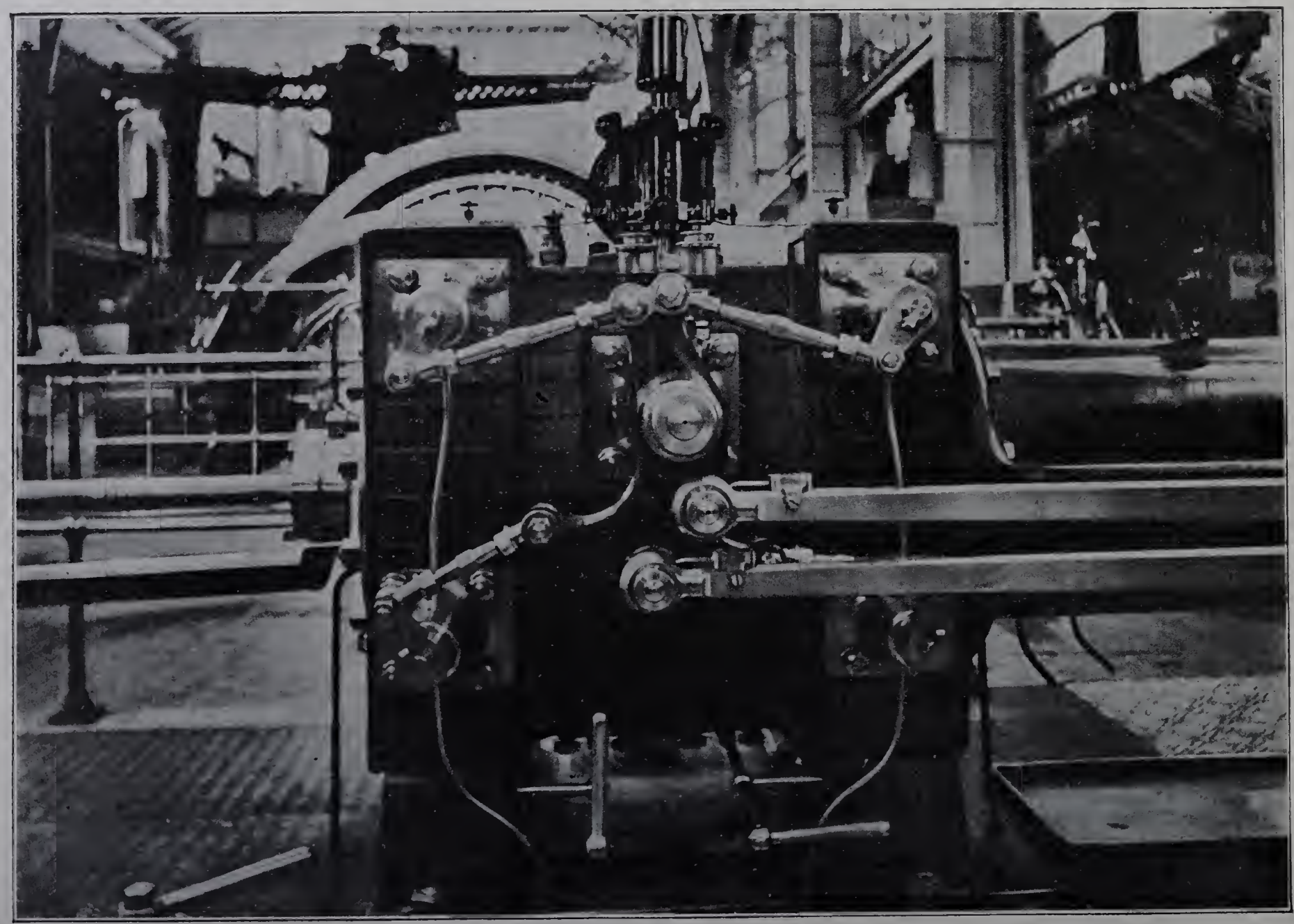


Fig. 285. — Machine à vitesse accélérée, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu. — Vue du mécanisme de distribution.

qu'à une vitesse moyenne de 2 m. 66 par seconde, avec une accélération maximum de 70 m : s^2.

$$D = 0^m46 \qquad \frac{L}{D} = 1.08$$
$$L = 0\ 50 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m66$$
$$N = 160$$

C'est avec une pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré et une admission de 10 p. 100 que le moteur développe sa puissance normale de 135 chevaux.

La distribution est commandée par deux excentriques qui gouvernent respectivement l'admission et la détente; chacun d'eux fait osciller un balancier central, d'où partent les deux bielles obliques allant aux obturateurs correspondants. La variation de la détente est obtenue en modifiant l'angle de calage et la course de l'excentrique d'admission.

A cet effet, cet excentrique est placé sous la dépendance immédiate d'un régulateur-volant qui lui est juxtaposé sur l'arbre et qui appartient au type représenté par la figure 257.

Par l'absence de tout déclenchement, par le système de son régulateur, ce type se rattache aux machines à grande vitesse. L'allure de 160 tours à la minute n'est pas le maximum dont il soit susceptible. Toutefois, la loi du mouvement des distributeurs comporte des accélérations vives qui ne s'accommoderaient pas de rotations aussi rapides que les mécanismes à oscillations exclusivement harmoniques. C'est un type à vitesse accélérée plutôt qu'un moteur à grande vitesse au sens où l'on entend aujourd'hui cette dénomination.

Nous retrouverons encore MM. Garnier et Faure-Beaulieu parmi les exposants des machines à tiroir.

Établissements Weyher et Richemond. — La Société des Établissements Weyher et Richemond, qui en 1889 s'appelait la Société centrale de construction de machines, de Pantin (Seine), a apporté au système Corliss diverses modifications intéressantes, tant pour rendre l'admission variable dans les limites les plus étendues que pour concilier, avec des vitesses de rotation élevées, le jeu du déclenchement.

Suivant un ensemble de dispositions dues à son ingénieur, M. L. David, elle expose un type horizontal monocylindrique de 600 chevaux (fig. 286), présentant les dimensions et, dans le fonctionnement normal, les vitesses que voici :

$$D = 0^m79 \qquad \frac{L}{D} = 1.96$$
$$L = 1^m55 \qquad \frac{2\ LN}{60} = 3^m72$$
$$N = 72$$

Toutefois, un exemplaire de ce type est présenté directement attelé à une pompe Meunier qui ne doit fonctionner qu'à l'allure de 38 tours par minute; la puissance du

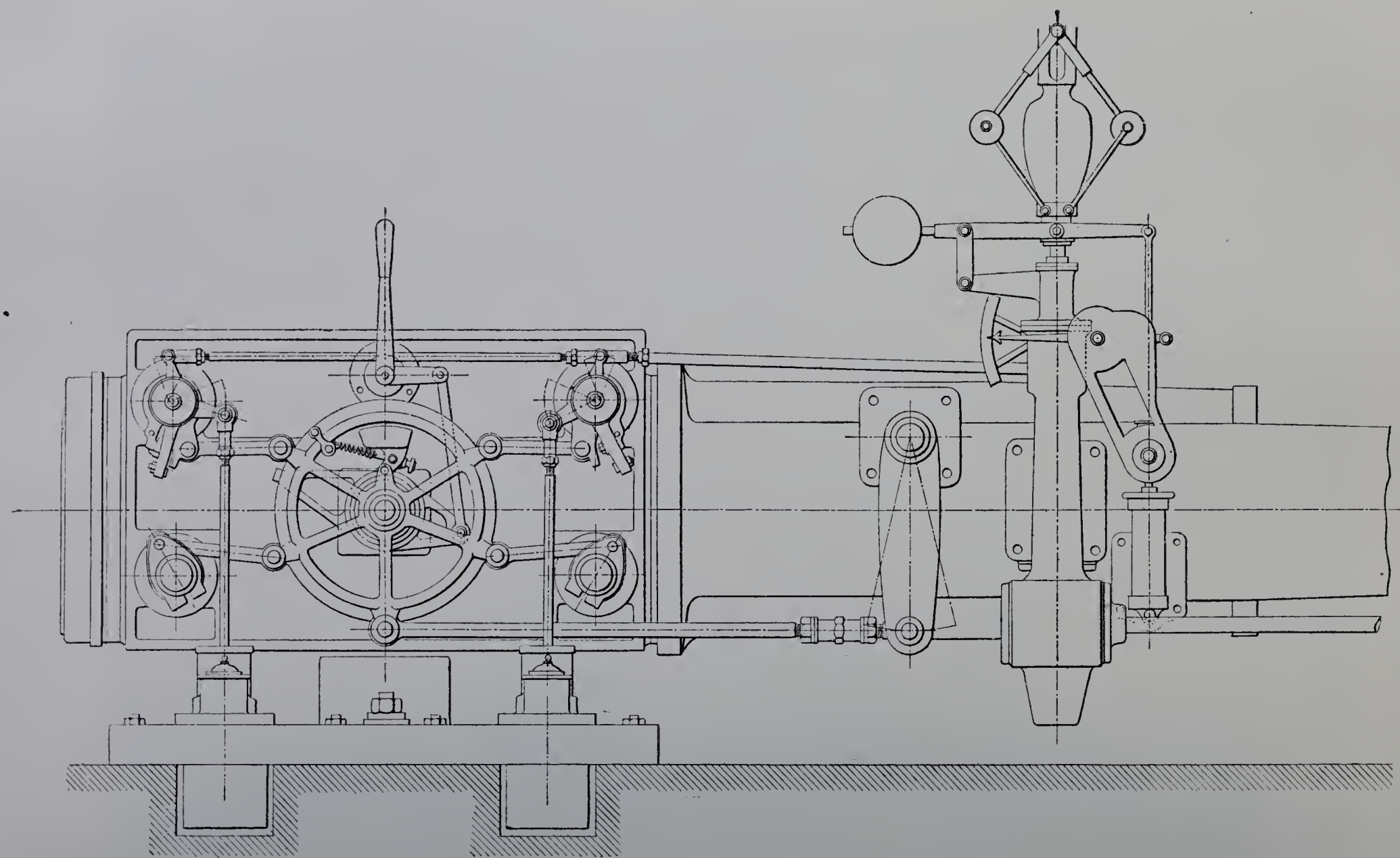


Fig. 286. — Machine Corliss-David. (Établissements Weyher et Richemond.)

moteur ainsi ralenti se trouve réduite à 380 chevaux. Mais le système se prête à des vitesses beaucoup plus grandes, atteignant, paraît-il, 125 tours par minute en marche industrielle prolongée.

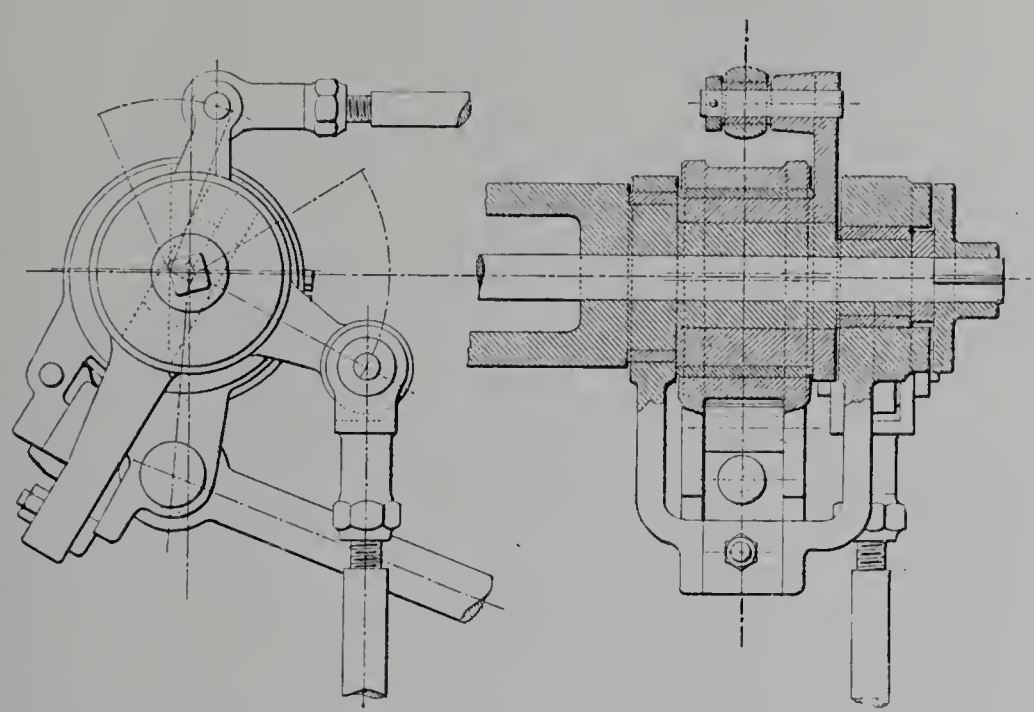


Fig. 287. — Mécanisme de commande d'un des distributeurs d'admission, système L. David. Élévation et coupe longitudinale.

Le bâti est du type Corliss à glissières cylindriques et le cylindre repose sur un piétement qui permet la dilatation. L'arbre est compris entre deux paliers lubrifiés par bague roulante. Le palier de manivelle a été représenté par les figures 261 et 262 : c'est un palier à cinq coussinets : un, inférieur; deux, latéraux, dont le serrage peut être réglé avec précision par un renvoi de mouvement; deux, supérieurs, alignés dans le sens de l'axe et également à pression réglable; tous ces coussinets, garnis de métal antifriction, sont assemblés dans une cage demi-cylindrique soigneusement alésée. L'autre palier est à rotule sphérique, de manière que ses deux coussinets soient toujours en parfaite conformité d'orientation avec l'arbre.

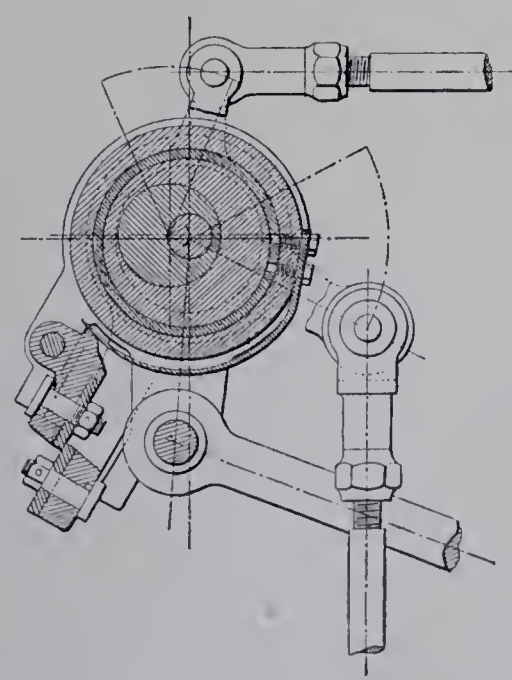


Fig. 288. — Coupe transversale.

Le cylindre est à enveloppe de vapeur; les distributeurs Corliss sont logés à la jonction des fonds et de la partie cylindrique. La distribution (fig. 287 à 289) est commandée par un balancier circulaire en forme de volant, placé au centre du rectangle formé par les axes des quatre distributeurs et commandant par quatre bielles les mouvements de ceux-ci. Pour chacun des distributeurs d'admission, le mécanisme comprend une pièce menante et une pièce menée, toutes deux oscillantes autour de l'axe du tiroir, sauf, pour la pièce menante,

une légère excentricité périodiquement variable dont nous parlerons plus loin. La pièce menée, dont le mouvement est simplement circulaire, est solidaire du tiroir; elle se compose de deux flasques, ou plus exactement de deux colliers centrés sur l'axe et reliés l'un à l'autre par une arcade à laquelle est fixée la touche dont l'entraînement par la pièce menante fait tourner le tiroir dans le sens de l'ouverture; à cette même pièce menée est attelée, d'autre part, la tige verticale d'un dispositif de rappel pneumatique. Quant à la pièce menante, elle est logée entre les deux colliers de la pièce menée, de sorte que la touche dont elle est armée attaque celle de l'arcade sans qu'il y ait dans ce mécanisme d'entraînement aucun porte-à-faux.

Le déclenchement résulte d'un mouvement composé. En même temps que la touche menante, par un déplacement circulaire, pousse la touche menée, elle subit un léger déplacement radial qui la fait glisser sur celle-ci et modifie progressivement sa marge de prise; arrive un moment où cette prise devient nulle et le déclenchement se produit. Dans la suite de la trajectoire fermée qu'elle décrit, la touche menante revient saisir doucement l'autre dans la position où celle-ci a été ramenée par le mécanisme de rappel; elle la pousse ensuite tout en glissant légèrement sur elle, jusqu'au point où elle l'abandonne de nouveau.

A cet effet, le collier sur lequel est fixée la touche, et auquel la bielle de commande venant du balancier central de la distribution imprime un mouvement oscillatoire à vitesse variable, n'est pas monté sur un axe invariablement centré, mais sur un excentrique mobile autour d'un tourillon excentré. Cet excentrique reçoit un mouvement oscillatoire de même période que l'autre, mais d'amplitude moindre et de phase différente, par l'effet duquel le centre de l'excentrique, et par conséquent du collier, s'écarte tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, du centre invariable autour duquel tourne la pièce menée; c'est lorsqu'il y a coïncidence des deux centres que les deux touches sont bord à bord. Le mouvement oscillatoire de l'excentrique est donné par une bielle et un petit plateau-manivelle monté sur la transmission du régulateur à force centrifuge; l'angle de calage de ce plateau-manivelle est sous la dépendance du régulateur.

Le bord de la touche menée a pour trajectoire un arc, plus ou moins étendu, le long d'un cercle toujours le même. Le bord de la touche menante, par la combinaison des deux mouvements du collier et de l'excentrique, décrit une orbite très allongée qui coupe l'arc de cercle en deux points, variables avec la phase du mouvement oscillatoire de l'excentrique. L'un de ces points est toujours dans la région, correspondant à la fermeture complète du tiroir, où le mouvement d'oscillation du collier est considérablement ralenti, la bielle de commande étant orientée vers l'axe du balancier central; il en résulte que la touche menante vient toujours se poser doucement sur la touche menée, alors au repos. L'autre point d'intersection est largement variable sous l'action du régulateur et peut se trouver, soit sur la partie de la courbe fermée correspondant au mouvement d'aller, soit sur celle correspondant au mouvement de retour des pièces mobiles; il s'ensuit que le déclenchement peut être produit aussi bien pour les grandes que pour les petites admissions, jusqu'aux 8/10 de la course du piston.

Nous avons dit que la touche menante était invariablement reliée à son collier, son mouvement étant entièrement déterminé par le mécanisme à liaisons complètes que nous

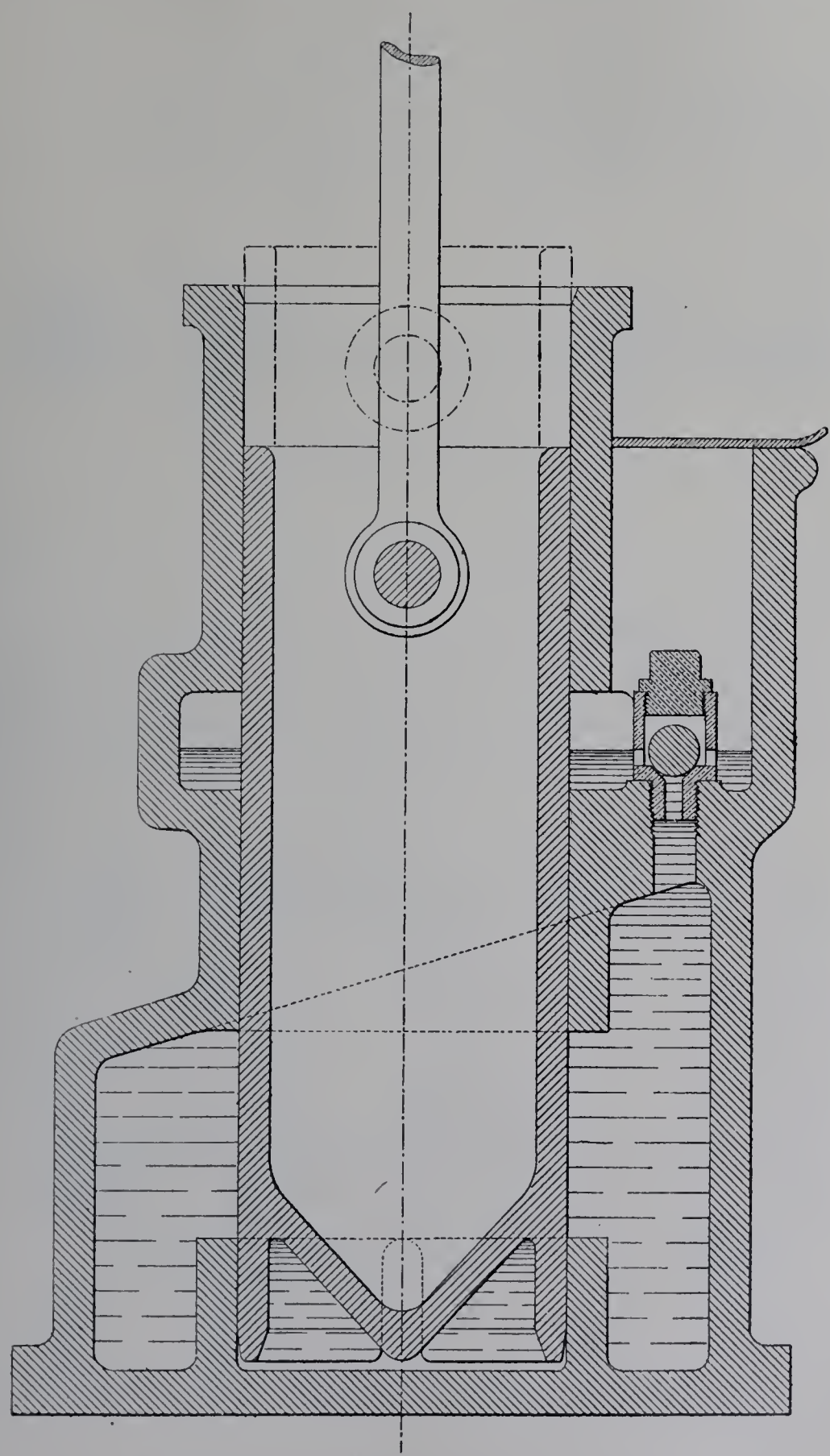


Fig. 289. — Rappel pneumatique à frein d'huile (système L. David).

venons de décrire. C'est cependant, en réalité, par une came à bascule que cette touche est portée; mais la bascule n'entre pas en jeu dans le fonctionnement normal du système;

C. F. E.

elle n'est là que pour éviter le bris des pièces au cas où l'on ferait accidentellement tourner la machine en sens inverse de la rotation normale.

Le rappel est obtenu par un piston plongeur (fig. 289), jouant dans un cylindre plein d'huile où son ascension détermine un vide. Le même organe sert à la fois à produire le mouvement et à le freiner en fin de course, grâce à l'artifice suivant. La partie inférieure du piston est en forme de cloche et se trouve engagée dans une cuvette qui occupe le fond du cylindre; la paroi cylindrique de la cloche est percée de deux fentes verticales.

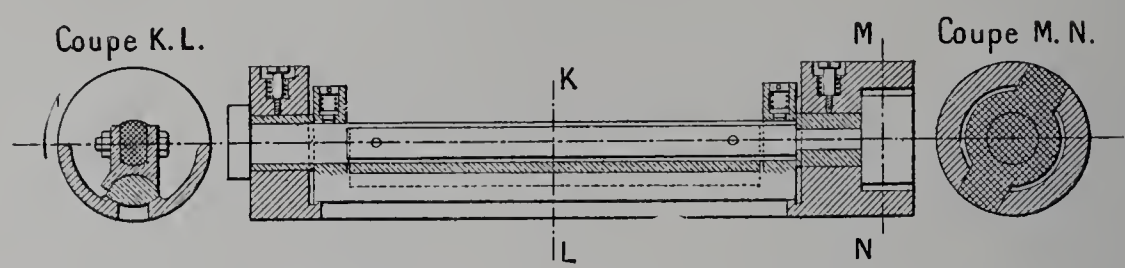


Fig. 290. — Tiroir d'admission à volet intérieur, système Corliss-Weyher.

Lorsque le piston se lève, la cloche fait le vide au-dessous d'elle dans la cuvette; il est vrai que l'huile, pénétrant par les deux fentes qui se démasquent au fur et à mesure de l'ascension, vient partiellement remplir celle-ci; mais c'est alors dans le cylindre qu'il se fait un vide équivalent à l'huile écoulée. Dès que le piston est libéré par le déclenchement, il est rappelé par la différence des pressions : le mouvement est vif tant que la cloche comble le vide resté au-dessous d'elle dans la cuvette; à partir de l'instant où

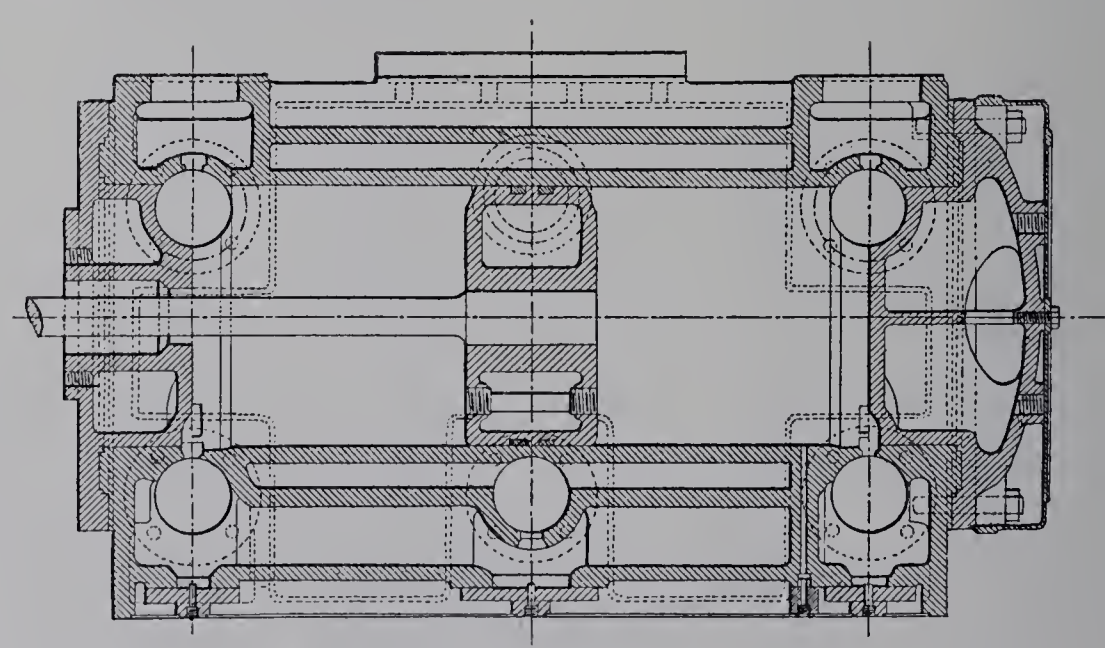


Fig. 291. — Machine Corliss-Weyher. — Coupe longitudinale du cylindre.

elle expulse l'huile de celle-ci pour combler le vide du cylindre, la résistance à l'écoulement fait frein. Il est entré dans la cuvette d'autant plus d'huile que la montée du piston a été plus ample et plus prolongée, de sorte que l'appareil se règle de lui-même. En même temps, il est clair que sa lubrification se trouve toujours assurée. C'est un mode de freinage analogue qui a été appliqué aux soupapes à déclic du type Collmann.

Le régulateur à force centrifuge, qui gouverne la détente, est du système Porter et

muni d'un compensateur, de manière à ramener la vitesse de régime à une même valeur quelle que soit la charge.

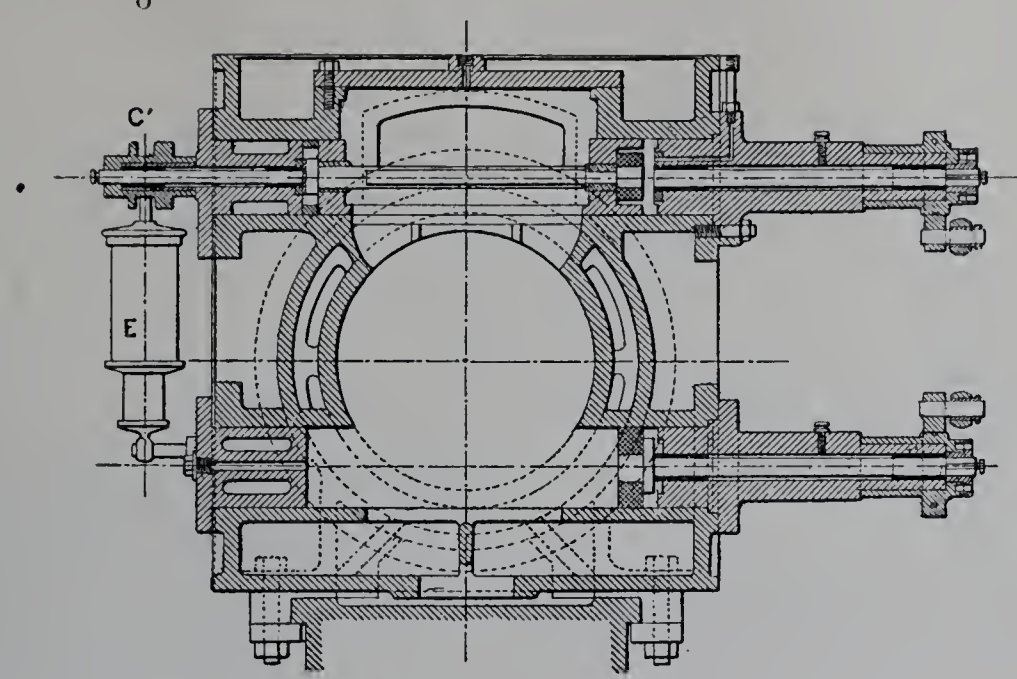


Fig. 292. — Coupe transversale.

Enfin, pour prévenir tout danger d'emballement, les dispositions de la machine sont complétées par un dispositif d'arrêt automatique complètement indépendant du régulateur ainsi que du système de détente. Si le balancier central de la distribution, dont

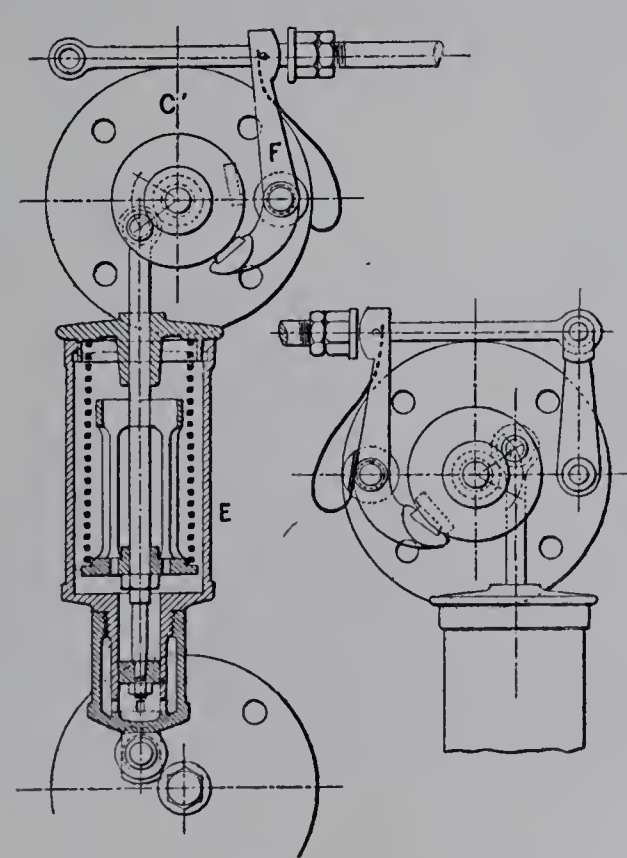


Fig. 293. — Rappel des volets de détente.

le mouvement d'oscillation est invariablement lié à la rotation de la machine, venait à prendre des accélérations exagérées, un robinet interposé sur la prise de vapeur se fermerait : voici comment. Sur le balancier circulaire est articulé un bras radial dont

l'extrémité est une masse assez lourde, placée près de la périphérie. Dans sa position normale, cette masse enclenche un levier en forme d'arc de cercle, articulé sur la jante du balancier. Un ressort à boudin, dont la tension est réglable, sollicite constamment

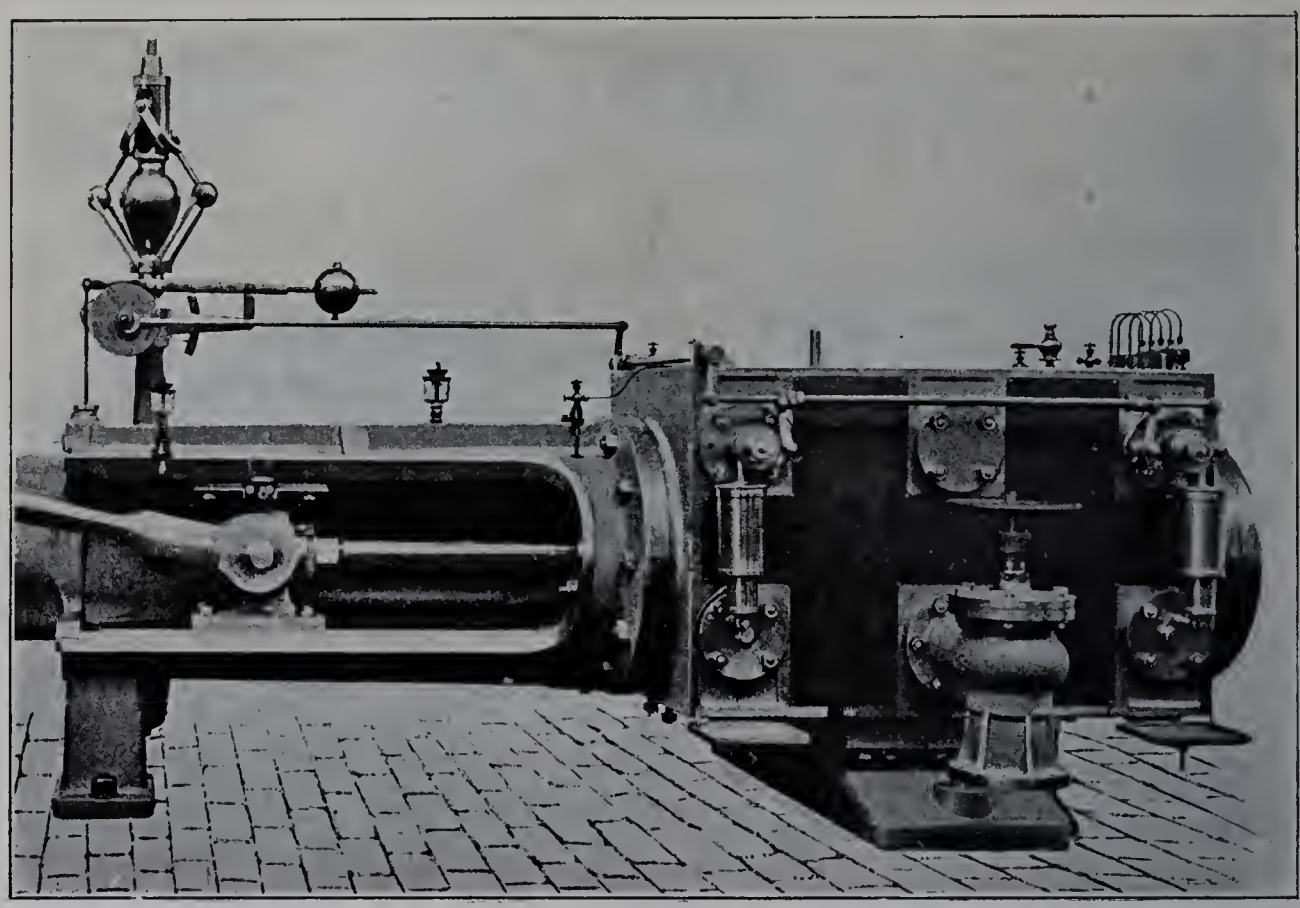


Fig. 294. — Machine Corliss-Weyher horizontale. — Vue du mécanisme de détente variable.

le bras radial, de manière à maintenir la masse dans cette position. Mais, si le balancier prenait une accélération trop grande, l'inertie de la masse serait plus forte que la traction du ressort et, le bras radial s'écartant par mouvement relatif, l'enclenchement

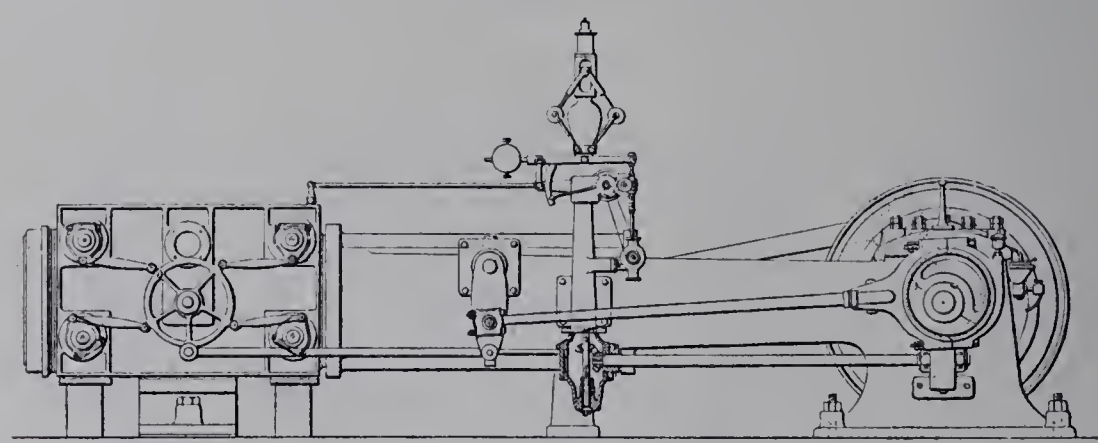


Fig. 295. — Élévation du côté du mécanisme à liaisons complètes.

serait détruit; le levier courbe basculerait aussitôt sous l'action d'un ressort à lame qui pèse sur lui; ce basculement empêchant le retour de la masse à sa position normale, les deux pièces se trouveraient immobilisées par rapport au balancier dans cette nouvelle position. Or, dans cette position, la queue du levier fait saillie extérieurement à la jante

du balancier et vient, dans le déplacement de celui-ci, pousser un levier qui ferme le robinet d'admission de vapeur.

MM. Weyher et Richemond appliquent aussi à la distribution Corliss un autre genre de déclenchement, qu'ils ont constitué antérieurement à celui que nous venons de

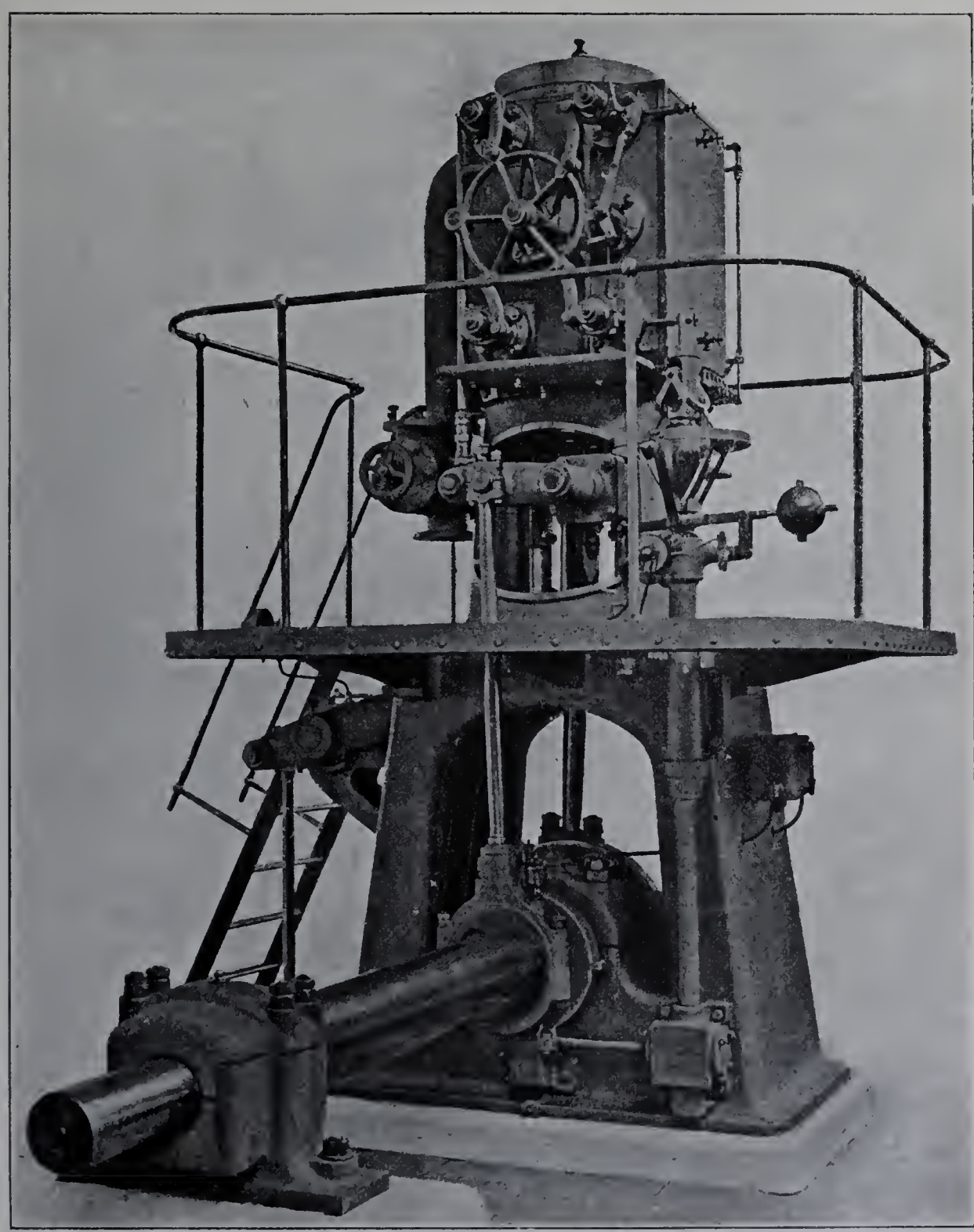


Fig. 296. — Machine Corliss-Weyher verticale. — Vue du côté du mécanisme à liaisons complètes.

décrire. Dans ce système connu sous le nom de Corliss-Weyher (fig. 290 à 297), chaque obturateur d'admission est formé de deux parties, le tiroir proprement dit et un volet intérieur. Le tiroir proprement dit est solidaire du mécanisme à liaisons complètes. Lorsqu'il se meut dans le sens de la fermeture (flèche de la coupe KL, fig. 290),

il entraîne avec lui le volet; en fin d'excursion, alors que le mouvement du tiroir va s'inverser et que, par suite, la vitesse commune de cette pièce et du volet est faible, l'extrémité C′ de l'axe du volet (fig. 292 et 293) vient s'enclencher sur une gâchette F; le volet se trouve donc immobilisé et ne suit pas le mouvement de retour du tiroir.

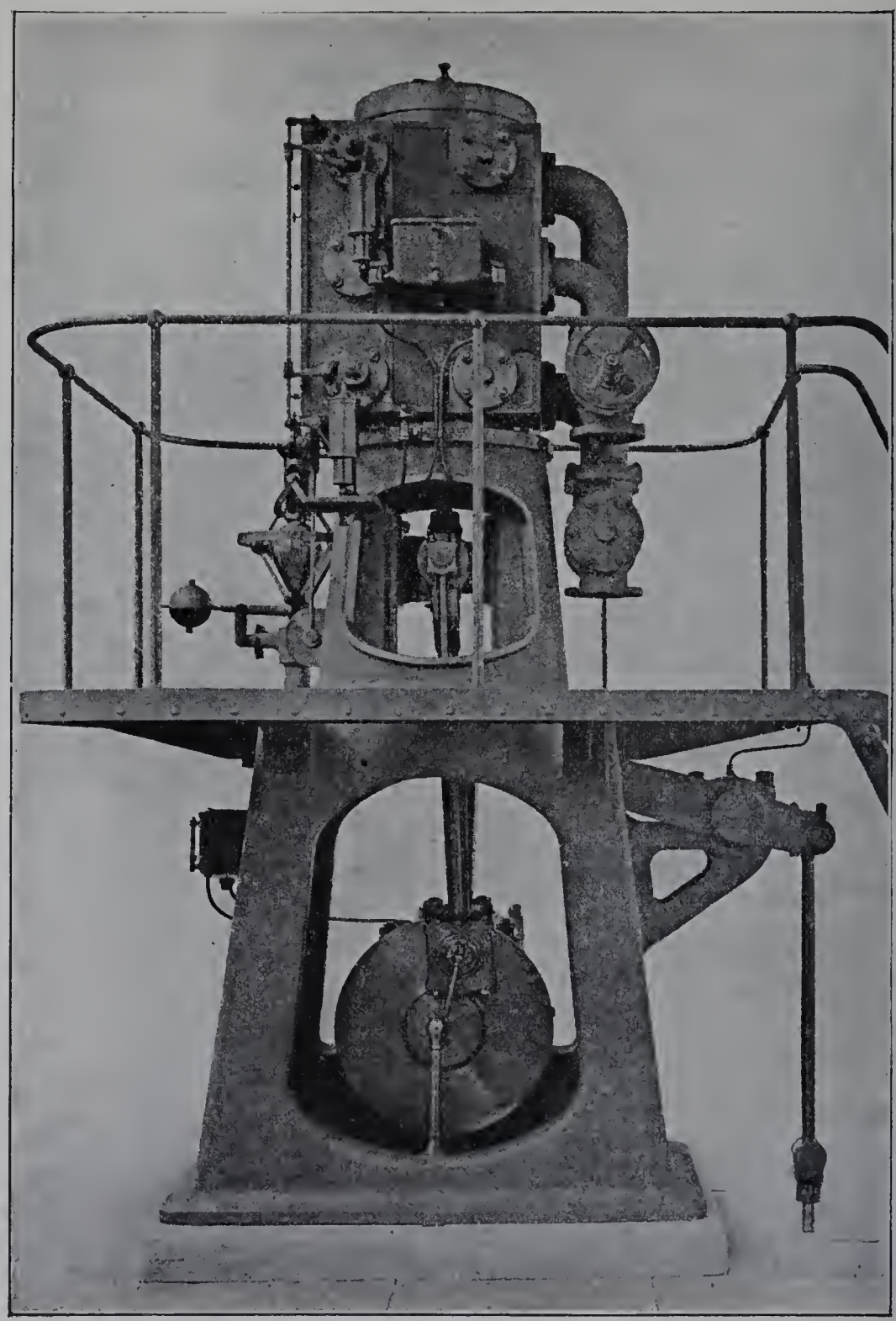


Fig. 297. — Vue du côté du mécanisme à déclenchement.

Celui-ci, dans ce mouvement de retour, ouvre l'admission, qui durerait pendant les 8/10 de la course du piston si, à un instant déterminé par le régulateur, la gâchette F ne se trouvait basculée par le contact d'une bague dont est munie une tringle oscillante, comme les figures 293 et 294 le font comprendre. Le volet, rappelé à sa position de repos par

le ressort E dont une petite cataracte à air adoucit l'action, coupe l'admission à la manière de la tuile de détente d'une distribution à deux tiroirs. La masse libérée se trouve ainsi réduite au strict minimum et le système se prête à une forte vitesse de rotation.

La tringle oscillante est commandée par un petit plateau-manivelle disposé sur la colonne du régulateur, tournant à la même vitesse que la machine et dont le régulateur (du type Porter avec compensateur) gouverne l'angle de calage : le degré d'introduction est, de la sorte, variable de zéro à 8/10.

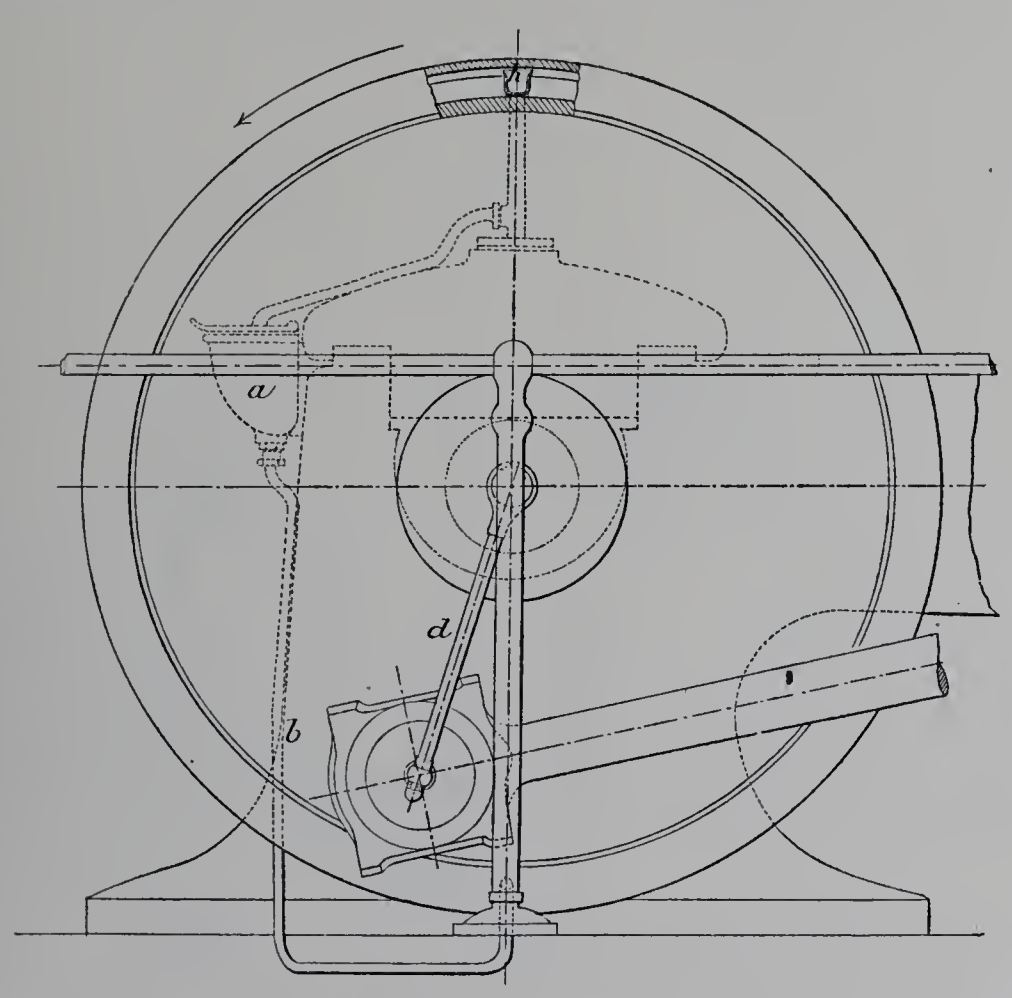


Fig. 298. — Graissage de tête de bielle. (Etablissements Weyher et Richemond.)

La Société Weyher et Richemond présente, dans ce système, deux machines. L'une horizontale (fig. 294 et 295) d'une puissance de 160 à 320 chevaux, répond aux données suivantes :

$$D = 0^{m}435 \qquad \frac{L}{D} = 2.1$$
$$L = 0^{m}93 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^{m}40$$
$$N = 110$$

L'autre est verticale (fig. 296 et 297). Elle a même alésage, mais 0 m. 62 de course seulement. Elle est construite pour tourner à 175 tours par minute et pour développer normalement 180 chevaux.

Un détail intéressant des machines Weyher et Richemond concerne le graissage de la tête de bielle. Dans ces machines, le mouvement est donné à l'arbre par un plateau-manivelle emmanché à la presse hydraulique. Le tourillon, emmanché lui-même de la

IMPRIMERIE NATIONALE.

même façon sur le plateau, est abondamment lubrifié par une arrivée d'huile qui peut se faire de deux manières : dans la disposition représentée (fig. 298 et 299), elle a lieu au moyen d'un tuyau radial extérieur *d* qui la reçoit du réservoir *a* par le siphon renversé *b*; dans une autre disposition, c'est le plateau-manivelle qui porte le conduit radial; à cet effet, ce plateau présente tout d'abord une gouttière circulaire de diamètre assez petit, dans laquelle l'huile venant du réservoir *a* est versée par un tuyau fixe; elle s'y étale, et s'y trouve appliquée par la force centrifuge et c'est d'un point de cette gouttière que part le conduit radial solidaire du plateau et aboutissant au tourillon de manivelle.

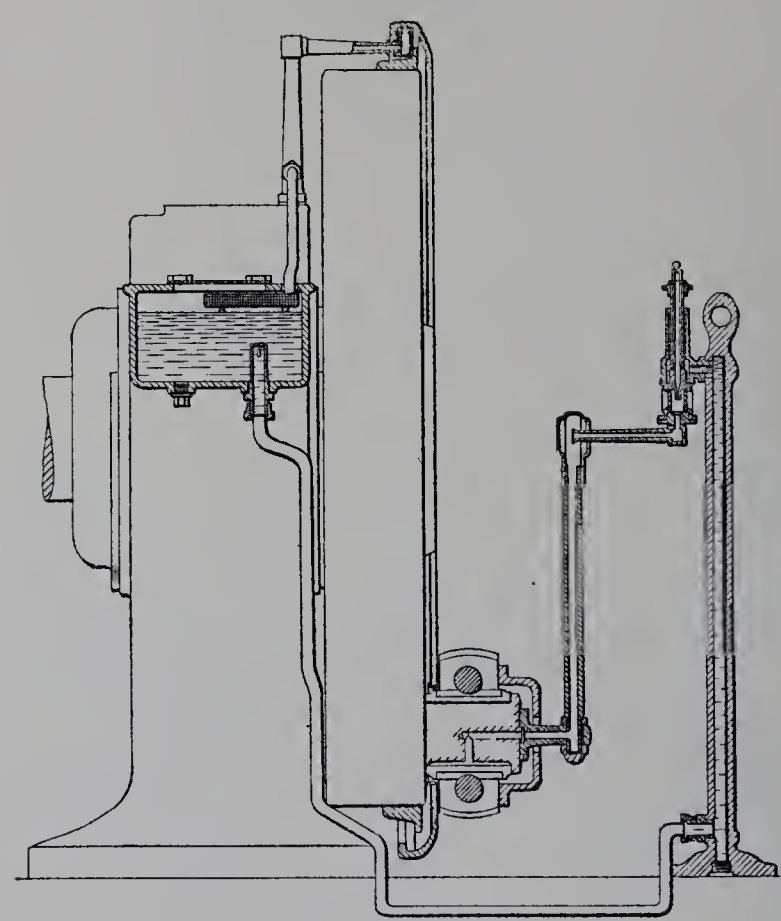


Fig. 299. — Coupe transversale du système de graissage.

Quoi qu'il en soit, l'huile filtrant entre la soie de ce tourillon et les coussinets de la tête de bielle est ramenée au réservoir *a* par l'artifice que voici. Continuant de cheminer sous l'action de la force centrifuge, elle arrive dans une gouttière circulaire disposée à la périphérie du plateau tournant. Au point le plus haut de cette gouttière se trouve une cuiller fixe *h* formant barrage; cette cuiller est portée au sommet d'un tuyau de descente, fixe comme elle, revenant de ce point au réservoir. L'huile, arrêtée par la cuiller dans son mouvement circulaire, se trouve soustraite à l'action de la force centrifuge et la gravité la fait revenir par ce tuyau au réservoir d'où elle était partie. Sur le débouché est interposé un filtre.

On a essayé à diverses reprises, tout en conservant les caractères généraux du système Corliss, de substituer, aux tiroirs oscillants, des tiroirs glissant sur une surface plane. C'est ainsi que les machines Wheelock du type de 1885 avaient des tiroirs à grille, allongés

perpendiculairement à l'axe du cylindre et placés à la jonction de la partie cylindrique et des fonds.

Dans d'autres systèmes, les tiroirs à grille ont été appliqués sur les fonds mêmes. MM. Weyher et Richemond présentent, dans un ordre d'idées plus ou moins analogue, un nouveau système de distribution imaginé par M. Lefer : chacun des quatre distributeurs est un papillon, formé de palettes triangulaires oscillant autour d'un axe normal à la surface de glissement, laquelle est plane et percée de lumières de même forme. Ces distributeurs sont placés sur les fonds du cylindre, afin de réduire à un minimum les espaces morts. Les papillons d'admission s'appliquent sur la face externe des fonds, ceux d'émission sont intérieurs au cylindre : la différence des pressions appuie les uns et les autres sur leurs tables. Le mouvement de distribution comporte pour l'admission un mécanisme à déclic et, pour l'échappement, une commande à coulisse qui laisse le papillon immobile durant la période de pleine fermeture, de sorte qu'il n'a à se mouvoir que lorsque la pression intérieure du cylindre est faible.

C'est à ce type qu'appartient la machine de 500 chevaux sur laquelle M. J. Hirsch a procédé, en 1898, à la magistrale série d'essais de consommation dont on trouvera le compte rendu dans la *Revue de mécanique*[1]. Nous ne pouvons mieux faire que de renvoyer à ce mémoire, où l'appareil est décrit et figuré.

Deux machines monocylindriques de ce système fonctionnent à l'Exposition : l'une a une puissance de 1,000 chevaux, l'autre de 500. La première, tournant à 120 tours par minute, actionne une dynamo Schuckert à courant continu, de MM. Daydé et Pillé, débitant 2,730 ampères sous 250 volts, soit une puissance de 680 kilowatts. Alimentée sous la pression de 7 kg par centimètre carré et fonctionnant avec 0,14 d'admission, elle répond aux données suivantes :

$$D = 1^m\,00 \qquad \frac{L}{D} = 1.05$$
$$L = 1^m\,05$$
$$N = 120 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 4^m\,20$$

L'unité de 500 chevaux est celle qui a fait l'objet des expériences de M. Hirsch; ses caractéristiques sont :

$$D = 0^m\,65 \qquad \frac{L}{D} = 2$$
$$L = 1^m\,30$$
$$N = 93,8 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 4^m\,06$$

Cette machine reçoit la vapeur à 10 kg par centimètre carré et développe sa puissance normale à l'admission de 1/10; elle fait tourner l'inducteur d'un alternateur triphasé de la Compagnie générale électrique de Nancy, de 4 m. 50 de diamètre, donnant 450 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0.8.

[1] *Revue de mécanique*, août et décembre 1901.

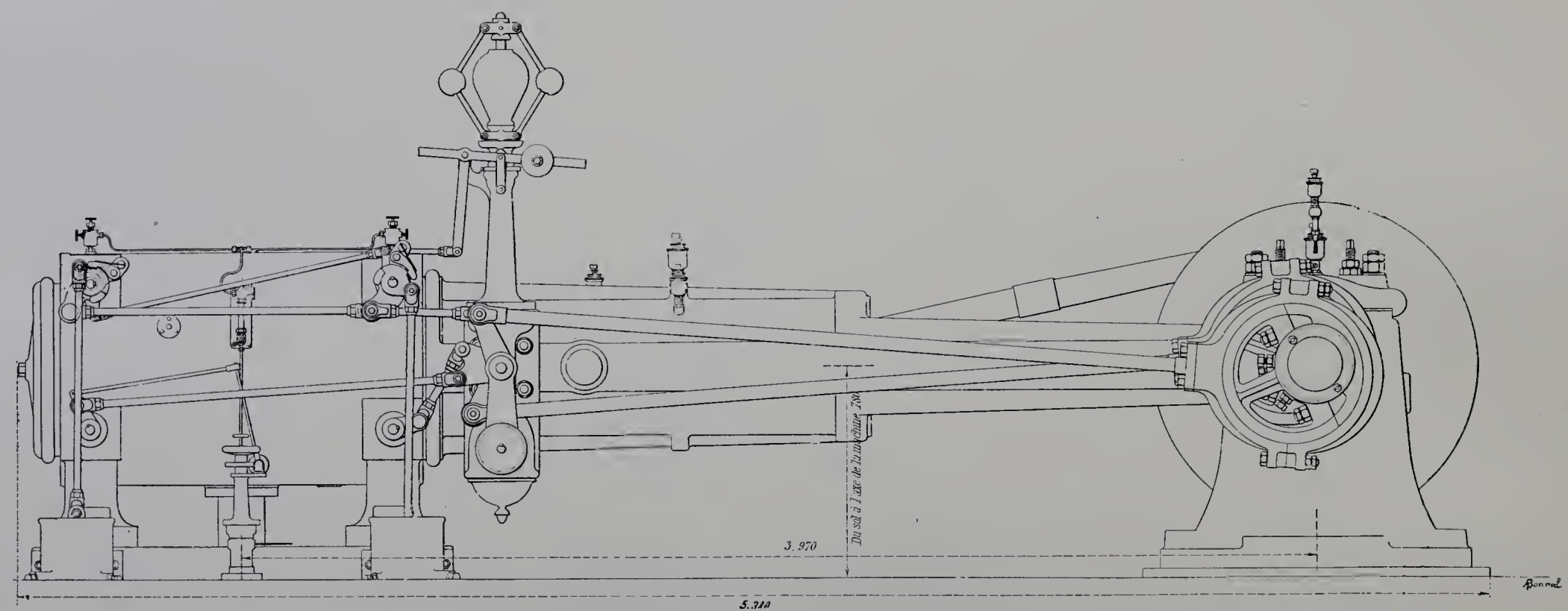


Fig. 300. — Machine de 150 chevaux de MM. Mollet-Fontaine.

Divers — Plusieurs autres constructeurs français exposent d'intéressantes machines du genre Corliss.

C'est ainsi que MM. Mollet-Fontaine et Cie, de Lille (Nord), présentent une machine (fig. 300 à 302) de 150 chevaux à 20 p. 100 d'admission, répondant aux données suivantes :

$$D = 0^m45 \qquad \frac{L}{N} = 2$$
$$L = 0^m90 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m70$$
$$N = 90$$

Le cylindre est à faible espace mort et avec enveloppe de vapeur complète. La distribution est donnée par deux excentriques distincts, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement.

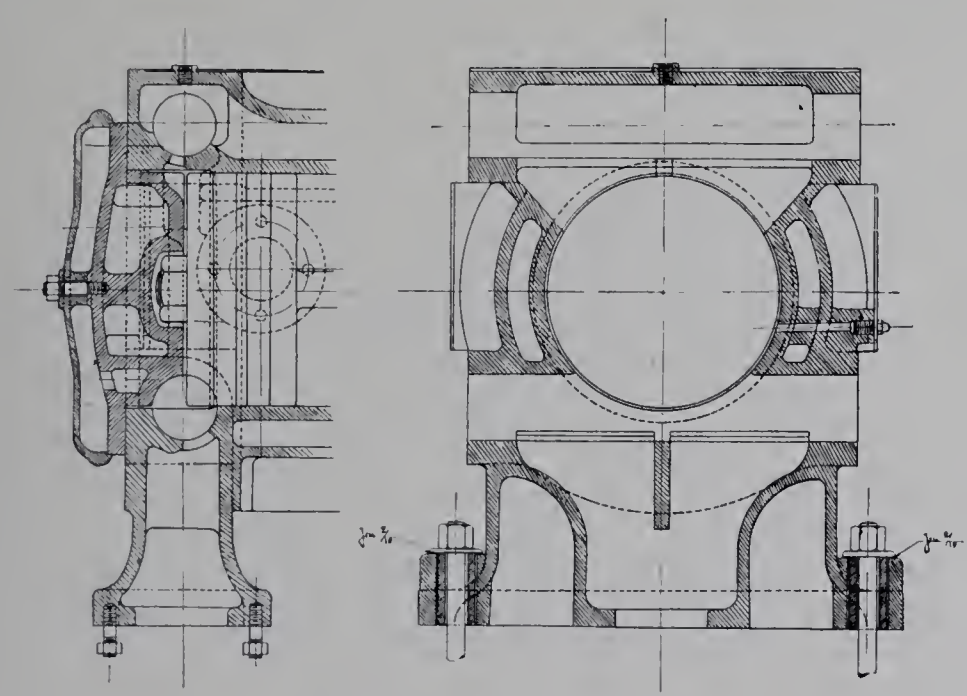


Fig. 301. — Coupes du cylindre.

Les distributeurs d'admission sont gouvernés par un mécanisme à déclic dont les figures 300 et 302 indiquent l'arrangement : le déclenchement se produit à l'instant où le cliquet articulé sur la pièce menante est soulevé par une came dont l'orientation est commandée par le régulateur Porter.

M. H. Brûlé et Cie, précédemment J. Boulet et Cie, successeurs de J. Hermann-Lachapelle, de Paris, exposent aussi une machine Corliss, en même temps que divers autres appareils qui fixeront plus loin notre attention. Cette machine (fig. 303 à 305) développe 80 chevaux avec une pression initiale de 7 kilogrammes et une admission de 10 à 12 p. 100 ; en voici les caractéristiques :

$$D = 0^m38 \qquad \frac{L}{D} = 2$$
$$L = 0^m75 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m25$$
$$N = 90$$

La distribution est commandée par un seul excentrique; le déclic des obturateurs d'admission est sous la dépendance d'un régulateur Andrade.

Le système Corliss continue d'être en faveur aux États-Unis et dans la Grande-Bretagne. MM. Ruston, Proctor et Cie, de Lincoln (Angleterre), emploient, dans leurs machines à quatre distributeurs, le tiroir Corliss-Reynolds. La distribution est commandée par deux excentriques, actionnant deux plateaux oscillants placés l'un devant l'autre, sur un même axe, au centre du rectangle des distributeurs; l'un conduit les distributeurs d'admission par l'intermédiaire d'un mécanisme à déclic, l'autre ceux d'échappement. Le rappel est obtenu à l'aide de *dash-pots* disposés verticalement, avec ressorts hélicoïdaux, soupapes d'aspiration d'air et pointeaux de réglage. Le degré d'admission est sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge tournant à grande vitesse, commandé par deux courroies et chargé par un ressort avec dispositif de réglage; des cames de sûreté produiraient l'arrêt de la machine en cas de chute du manchon.

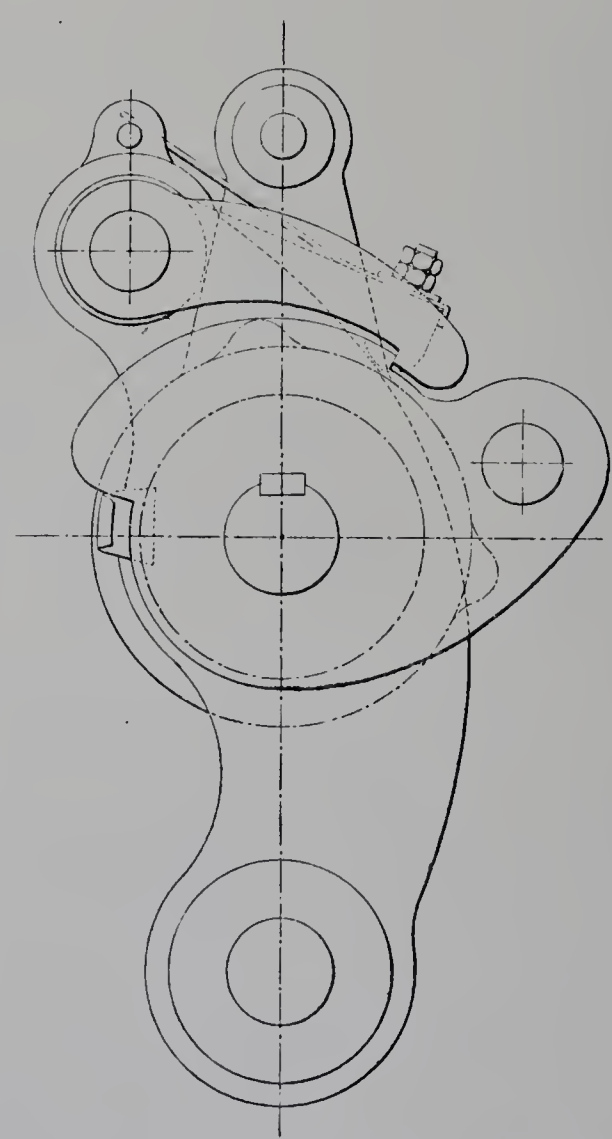


Fig. 302. — Commande d'un obturateur d'admission. (Machine Mollet-Fontaine.)

Ils exposent, dans ce système, une machine (fig. 306) de $0^m 279$ d'alésage et $0^m 711$ de course, dont la puissance est de 40 à 50 chevaux indiqués à la vitesse de 90 tours par minute, avec pression initiale de 7 kilogrammes par cm^2. Le cylindre est à enveloppe de vapeur, avec chemise en fonte dure emmanchée à la presse hydraulique; le

bâti est tubulaire et coulé d'une seule pièce avec le palier principal; l'alésage des parois cylindriques, tant du cylindre que du bâti, est fait en même temps que l'on tourne la

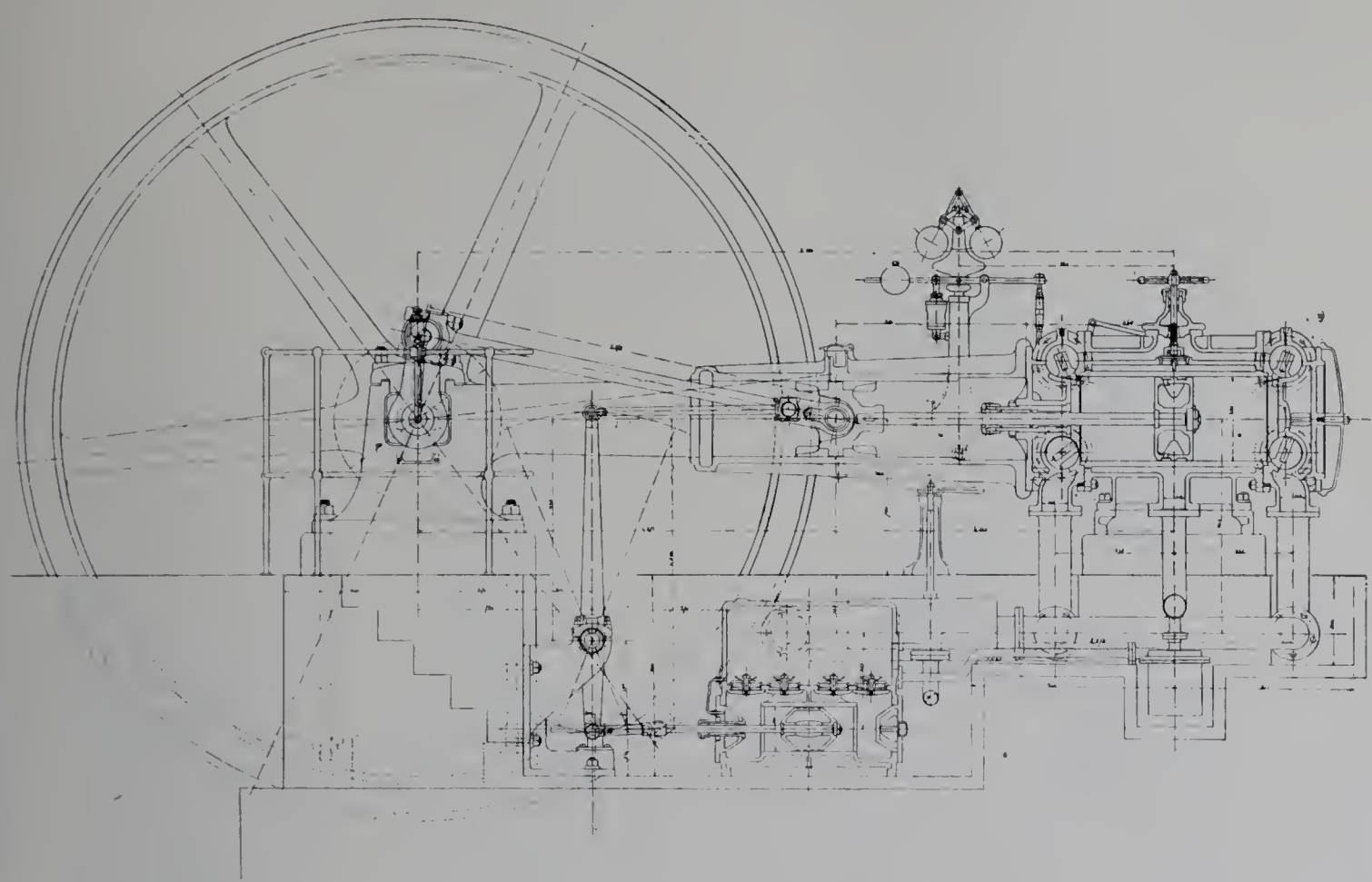


Fig. 303. — Machine Corliss de MM. H. Brûlé et Cie. — Coupe longitudinale.

surface d'assemblage de l'extrémité de chacune de ces deux pièces. Les patins de crosse sont larges et réglables. L'arbre, en acier, tourne dans des coussinets réglables de

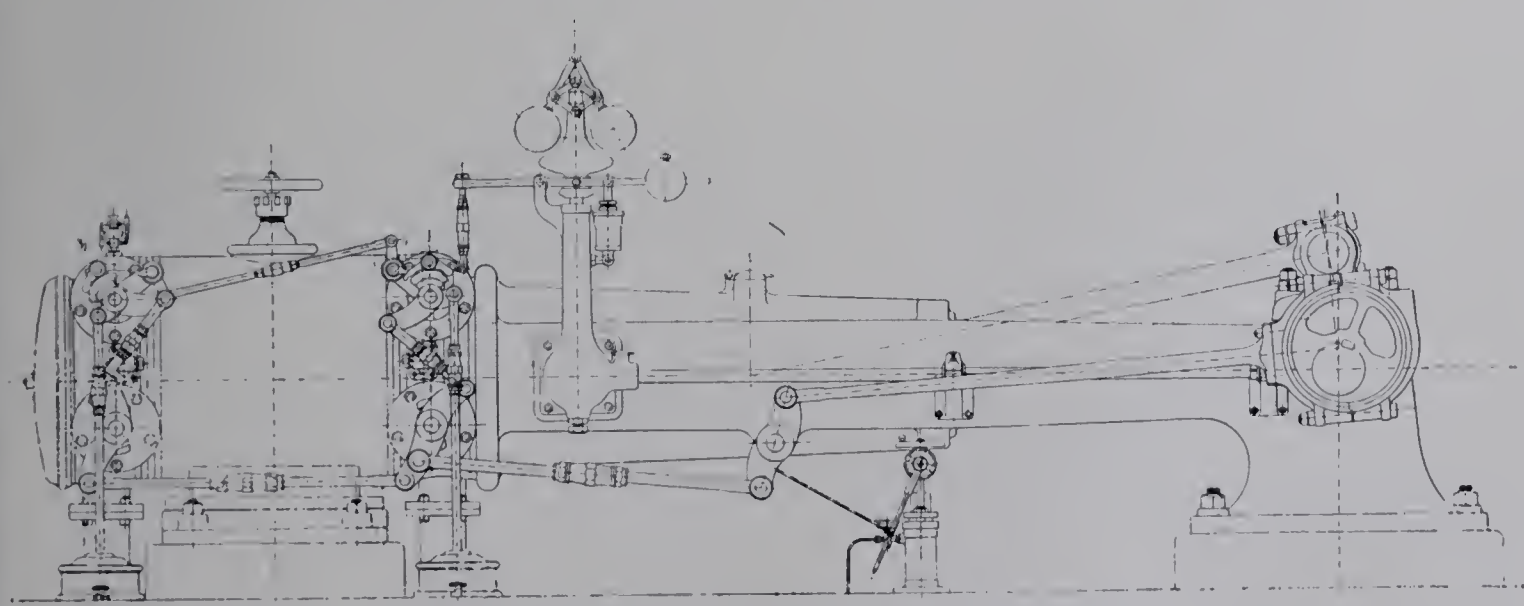


Fig. 304. — Élévation du côté du mécanisme de distribution.

grande longueur. La poulie-volant mesure 2 m. 51 de diamètre et pèse 1,500 kilogrammes.

Autres systèmes à quatre distributeurs. — Avant de quitter les distributions à quatre obturateurs, nous avons encore à signaler un certain nombre de machines horizontales monocylindriques, de moyenne puissance, dont les distributeurs diffèrent des robinets Corliss.

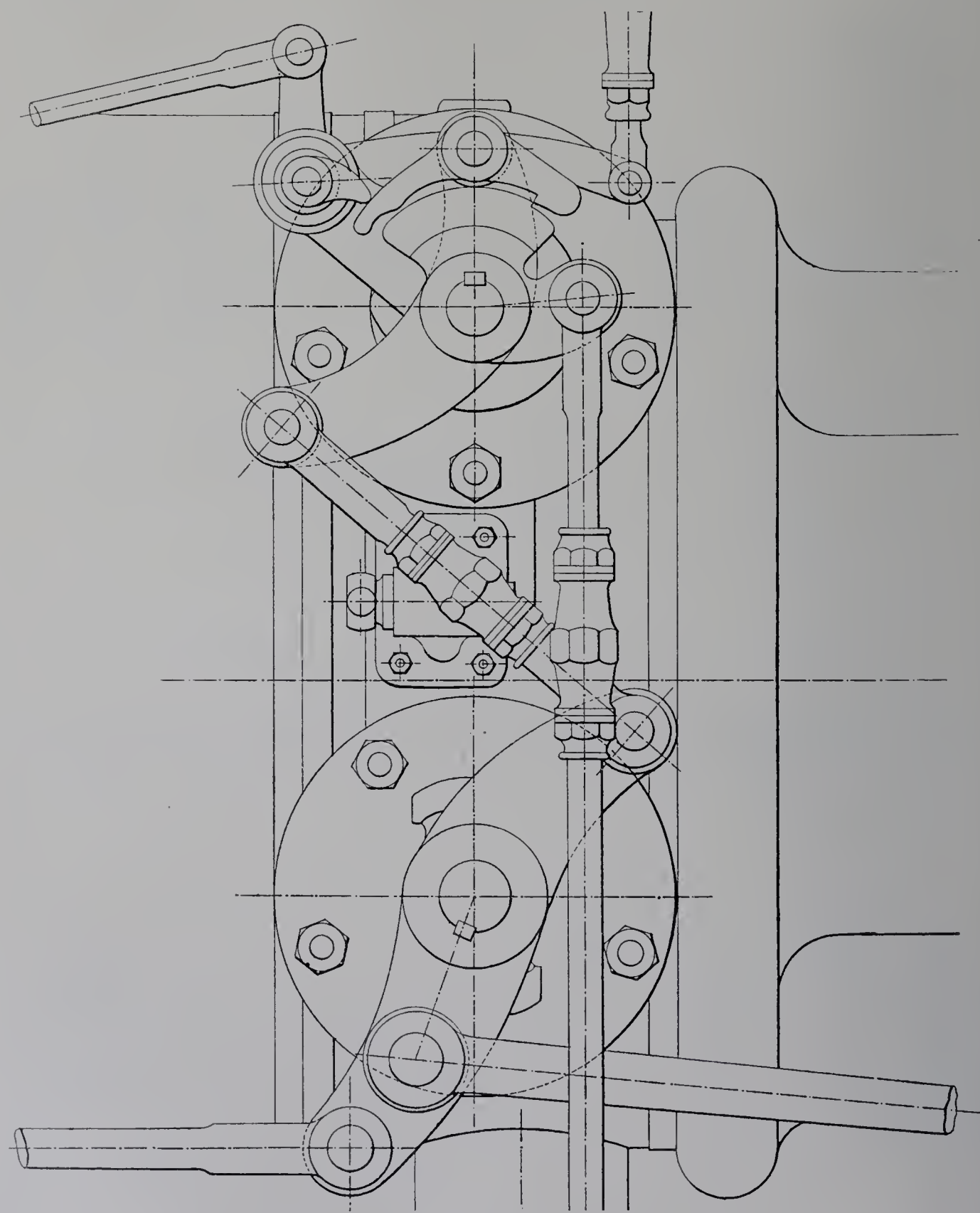


Fig. 305. — Détail de l'élévation, extrémité *AV* du cylindre.

Mentionnons d'abord les soupapes, bien que ces organes, ne se prêtant pas beaucoup à la réduction des espaces morts, soient plutôt réservés pour les moteurs à multiple

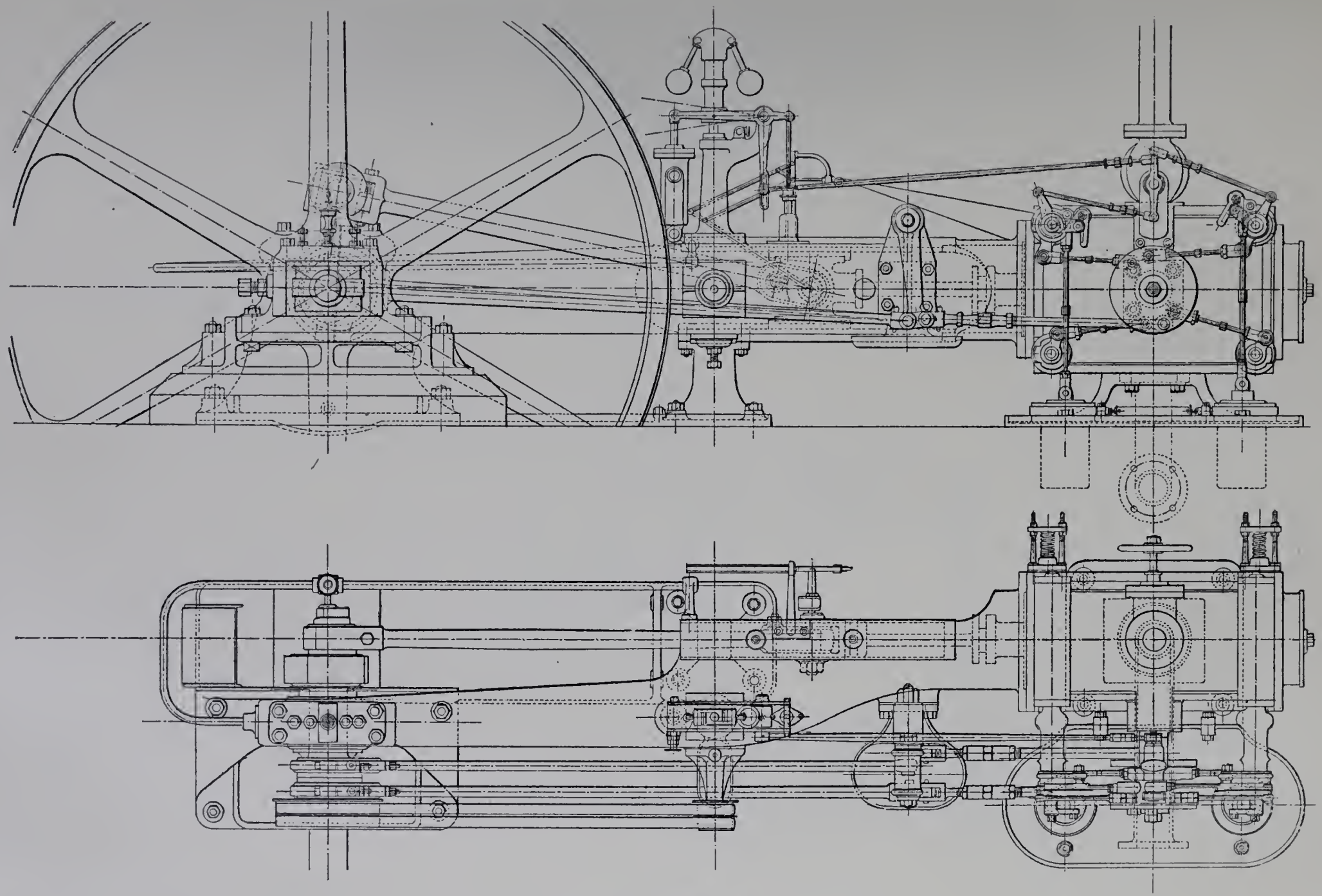


Fig. 306. — Machine Corliss de MM. Ruston, Proctor et Cie.

expansion. Quoi qu'il en soit, deux maisons belges exposent, dans ce système, des appareils offrant des particularités intéressantes.

Les ATELIERS WALSCHAERTS, de Bruxelles, présentent une machine de 0 m. 45 d'alésage et de 0 m. 70 de course, tournant à 120 tours par minute, où non seulement le cylindre est à enveloppe de vapeur complète, mais où le piston creux lui-même est chauffé.

La figure 307 montre le principe du dispositif : la paroi cylindrique du piston est percée d'un trou sur sa génératrice inférieure, entre les deux anneaux de garniture; le diamètre de ce trou, variable suivant les cas, est de 25 millimètres dans la machine

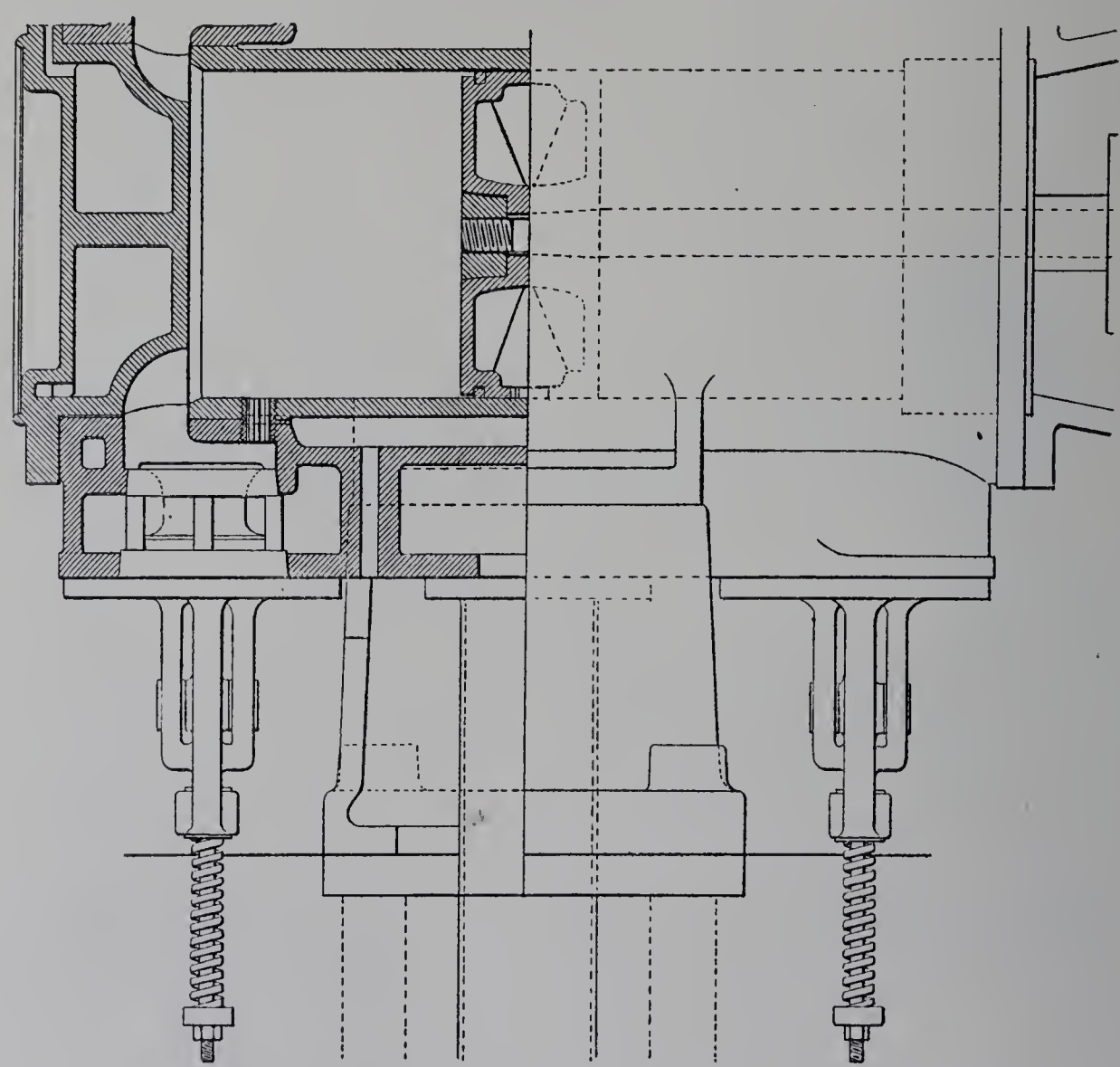


Fig. 307. — Chauffage du piston. (Ateliers Walschaerts.)

exposée. Chaque fois que le piston arrive à l'une ou l'autre des extrémités de sa course, cet orifice vient en coïncidence avec un canal de diamètre un peu plus grand (30^{mm}), percé dans la paroi du cylindre et communiquant avec la chapelle de la soupape d'évacuation, autrement dit avec l'espace mort.

L'eau de condensation, qui s'est formée durant la course dans la cavité du piston, s'écoule et cette cavité s'emplit de vapeur vive au début de l'admission; la progression du piston ne tarde pas à couper la communication et la vapeur reste emprisonnée entre

les deux toiles jusqu'à ce qu'elle se trouve de nouveau purgée et renouvelée lors du passage au point mort suivant.

La distribution est donnée par quatre soupapes à double siège. Celles d'admission sont actionnées par un mécanisme à déclenchement; ce sont des soupapes renversées, s'ouvrant de haut en bas. L'ouverture de chacune d'elles est produite par la pesée d'un levier tourillonné sur un axe fixe et actionné par un second levier dont le point d'articulation diffère légèrement de celui du premier : c'est cette différence de centrage qui produit le glissement et l'échappement de la touche menée par rapport à la touche menante. L'action du régulateur consiste à déplacer le point d'articulation du levier menant; un déplacement de 4 millimètres suffit pour faire varier l'admission de 0 à 75 ou 80 p. 100.

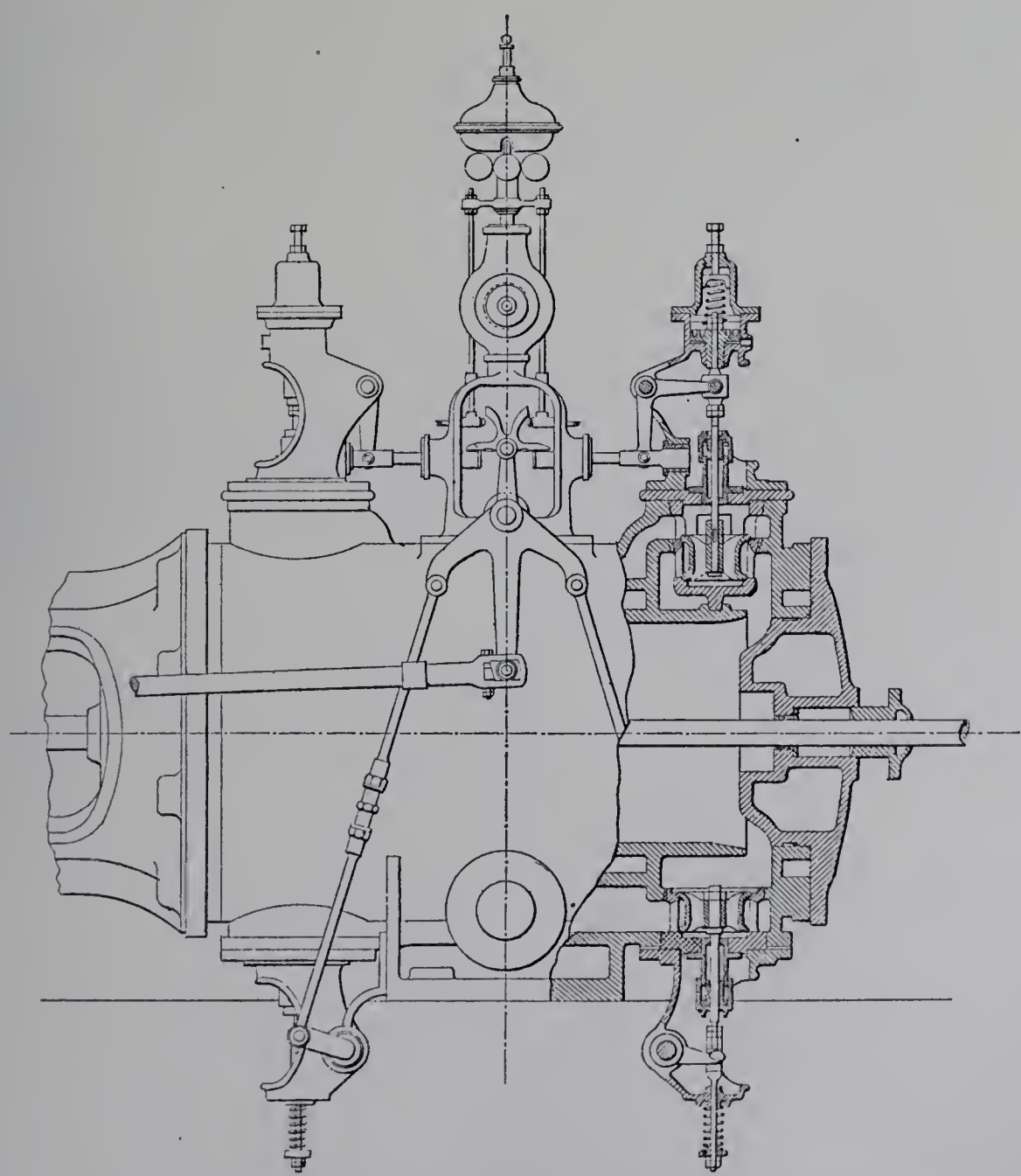


Fig. 308. — Distribution Robert. (Société des forges, usines et fonderies de Gilly.)

La société des Forges, usines et fonderies, de Gilly, près Charleroi, expose une machine de 0 m. 50 d'alésage et 0 m. 90 de course qui développe 175 chevaux à la vitesse

de 80 tours par minute avec 8 kilogrammes de pression initiale et 1/8 d'admission; ce moteur se distingue par l'extrême simplicité de sa distribution à déclic, due à M. A. Robert (fig. 308). La pièce oscillante qui commande les quatre soupapes agit sur celles d'admission par l'intermédiaire de cliquets qui sont relevés, plus ou moins tôt, par la rencontre de touches directement suspendues au manchon du régulateur sans aucun renvoi de mouvement.

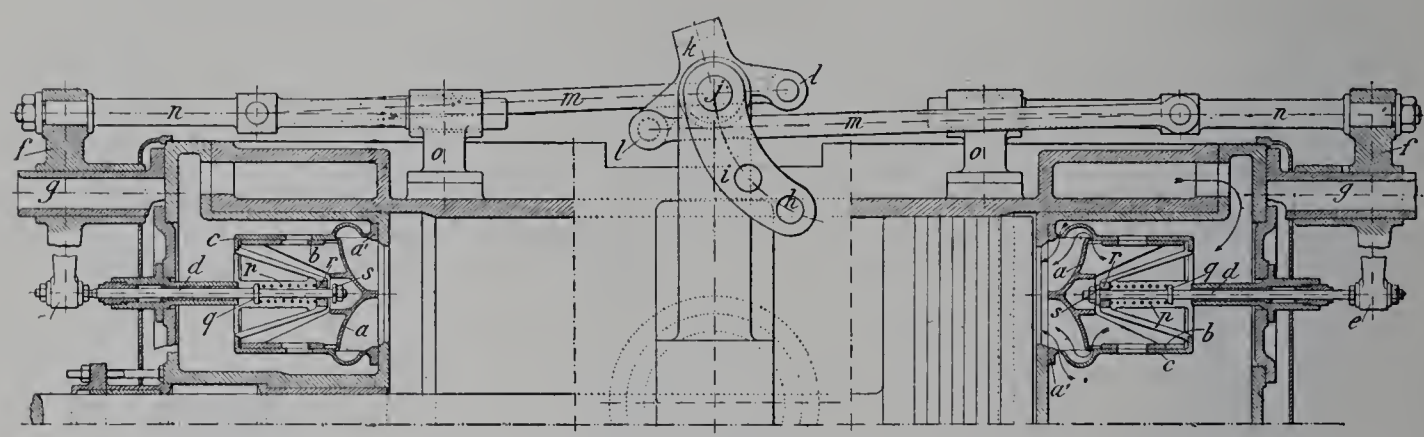


Fig. 309. — Distribution Hoyois. — Commande des soupapes d'admission.

Dans la distribution Alfred Hoyois, les obturateurs sont placés sur les fonds et consistent, pour l'admission en soupapes à axe horizontal, pour l'échappement en tiroirs à grille. Les soupapes, placées comme l'indiquent les figures 309 et 310, ne nécessitent que très peu d'espace mort et l'on peut en mettre deux côte à côte, associées en quantité, à chaque extrémité du cylindre; mais il faut, pour les actionner, des potences à longue tige. Celles-ci sont alternativement poussées et libérées par un mécanisme à déclic; le rappel est freiné par un dash-pot à air.

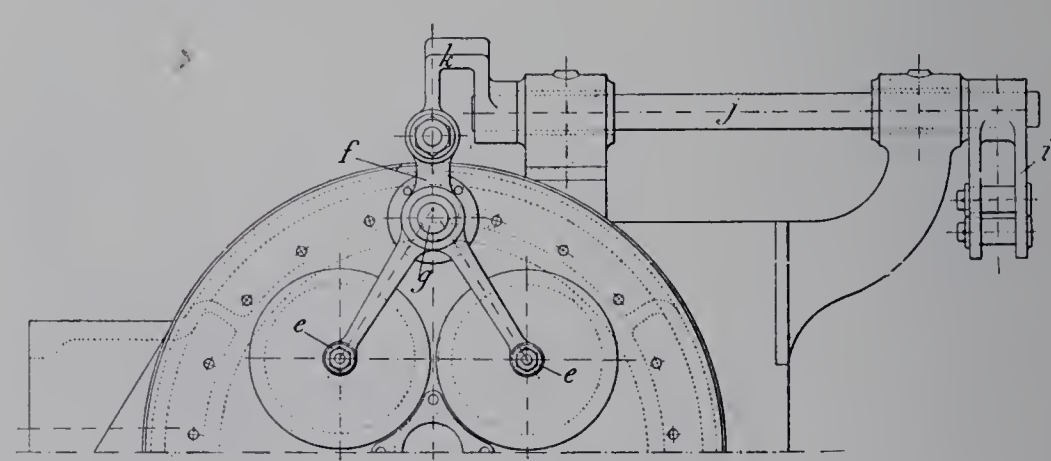


Fig. 310. — Vue de l'une des extrémités du cylindre.

Ce système est représenté à l'Exposition par deux machines, dont une d'assez forte puissance. C'est le moteur du groupe électrogène de 450 chevaux à 120 tours par minute, construit par la Société des Hauts fourneaux de Maubeuge (Nord). Le cylindre, de 0 m. 75 d'alésage, est à enveloppe de vapeur complète et formée de trois parties : d'une part, la chemise et l'enveloppe cylindrique venues de fonte ensemble; d'autre part, chacun des deux fonds creux; l'assemblage est fait métal sur métal. L'admission

est de 1/8 pour la puissance normale, avec pression de 8 kilogrammes par centimètre carré; elle peut varier, sous l'action du régulateur, de zéro à 8/10.

L'autre machine à distribution Hoyois est un moteur de 0 m. 40 d'alésage et 0 m. 55 de course, tournant à 90 tours et développant 65 chevaux avec 1/6 d'admission, exposée par la Société civile des Usines et Mines de houille du Grand Hornu (Belgique).

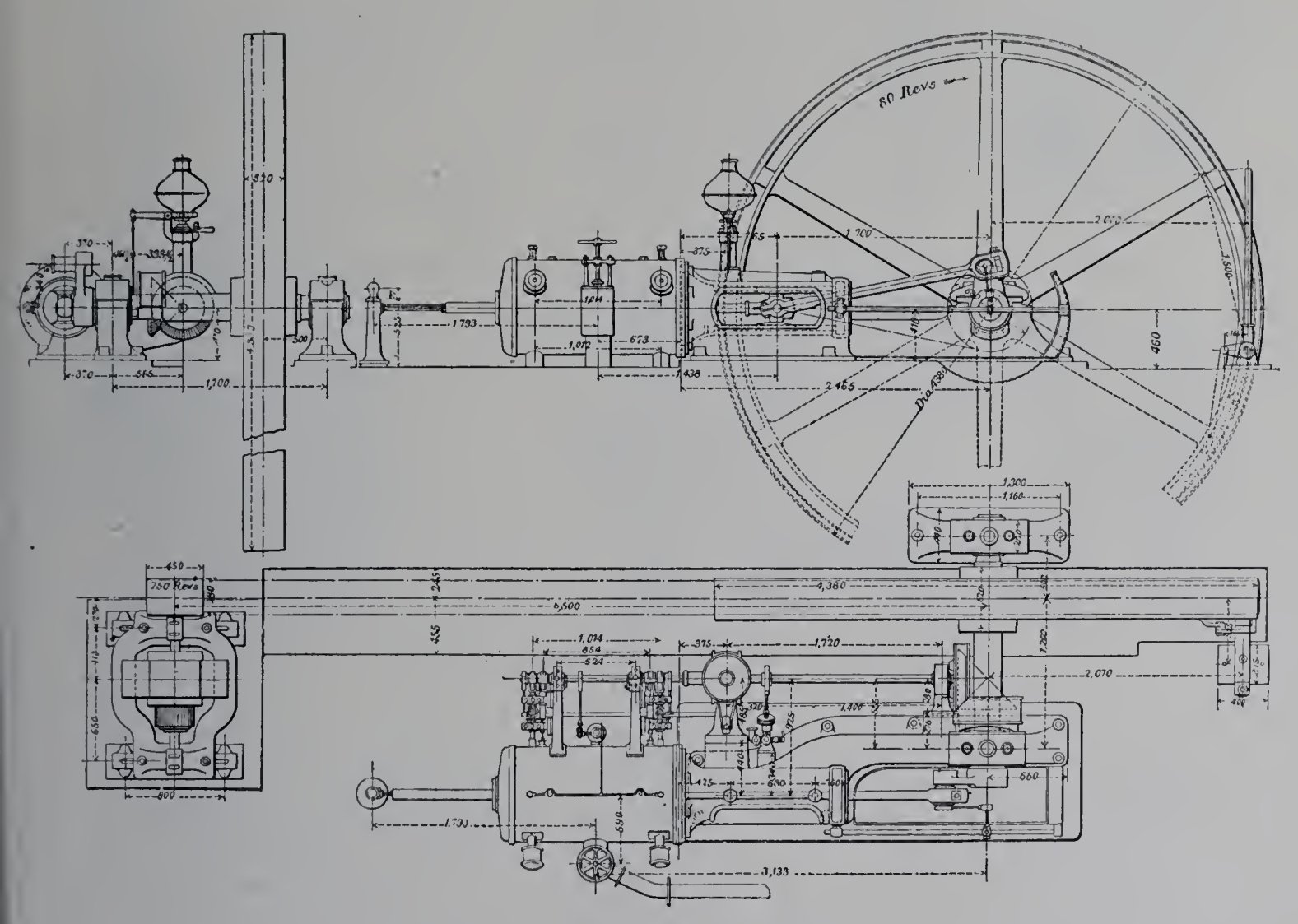


Fig. 311. — Machine Beer. — Ensemble.

La machine horizontale de 60 chevaux (fig. 311 à 316) présentée par la maison Beer, de Jemeppe-sur-Meuse (Belgique), se rattache aux précédentes comme employant, pour la distribution, des obturateurs d'admission et d'échappement distincts et placés sur les fonds; mais ces obturateurs consistent, les uns comme les autres, en tiroirs plans à grille : leur emplacement, extérieur aux fonds pour ceux d'admission, intérieur pour ceux d'échappement, est facile à comprendre d'après la figure 312. Ces distributeurs, qui ne laissent subsister qu'un minime espace mort, sont actionnés par un arbre de distribution parallèle au cylindre, au moyen du mécanisme représenté par les figures 313 à 315. Chacun des tiroirs d'admission, que la différence des pressions agissant sur la tige du poussoir tend continuellement à ramener dans la position de fermeture, est libéré par le déplacement d'un taquet d'enclenchement qui se relève

plus ou moins tôt suivant la position du régulateur à force centrifuge. On peut modifier la loi du mouvement des tiroirs d'échappement, de manière notamment à régler

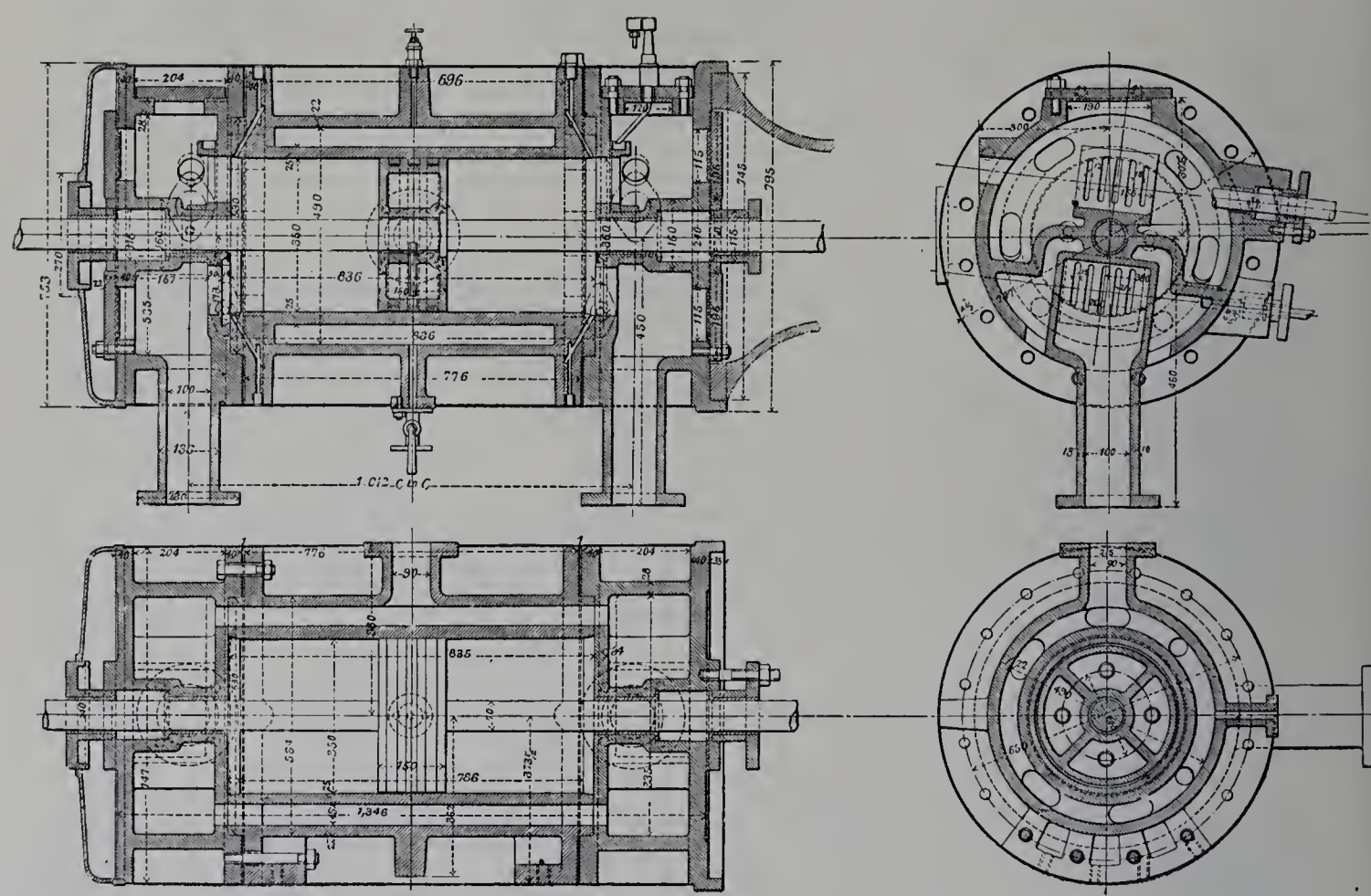


Fig. 312. — Machine Beer. — Coupes du cylindre.

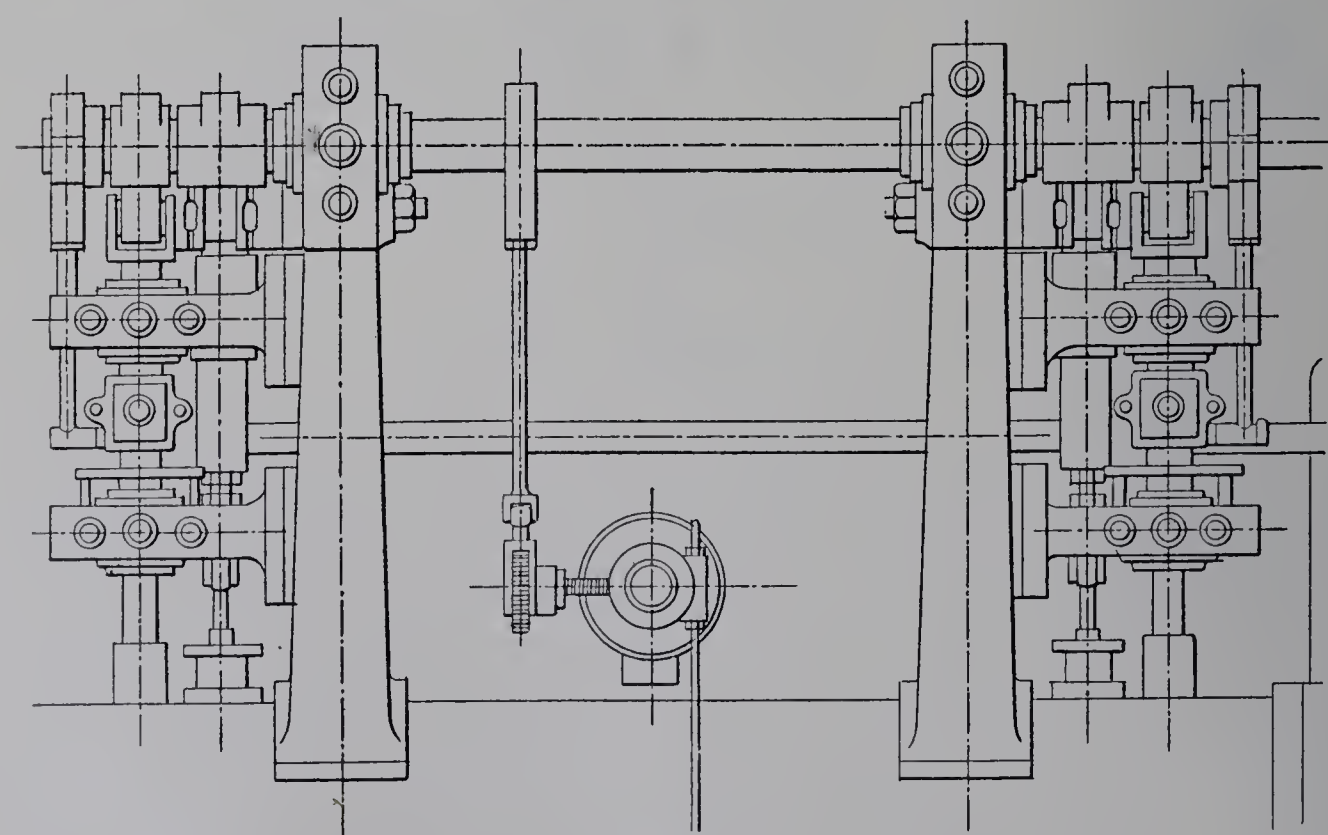


Fig. 313. — Plan du mécanisme de distribution.

différemment le degré de compression suivant que la machine fonctionne avec ou sans condenseur.

Fig. 314. — Coupe transversale montrant le mécanisme de distribution.

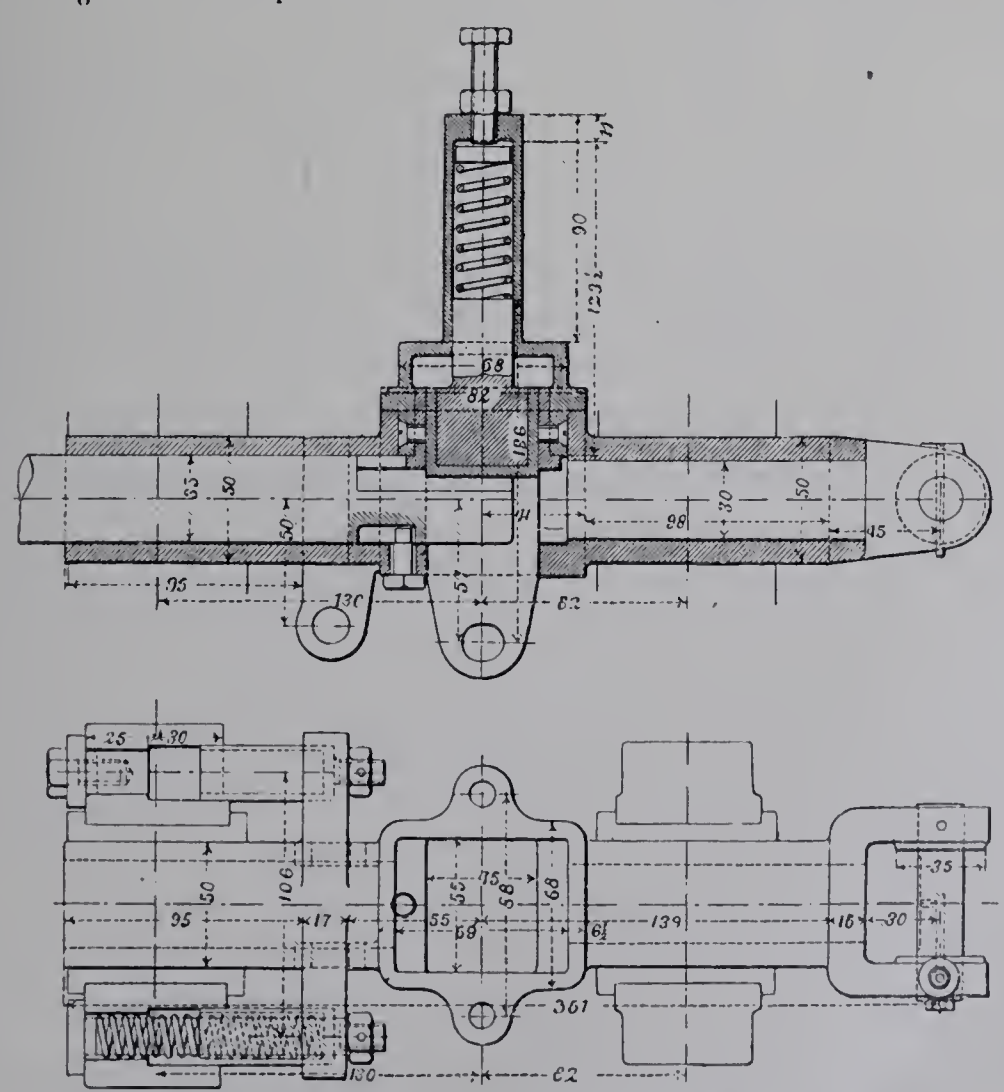


Fig. 315. — Détail du système de déclenchement des tiroirs d'admission.

En vue de combattre énergiquement les actions de paroi, non seulement le cylindre est à enveloppe de vapeur, mais le piston est chauffé; ce chauffage est obtenu, au

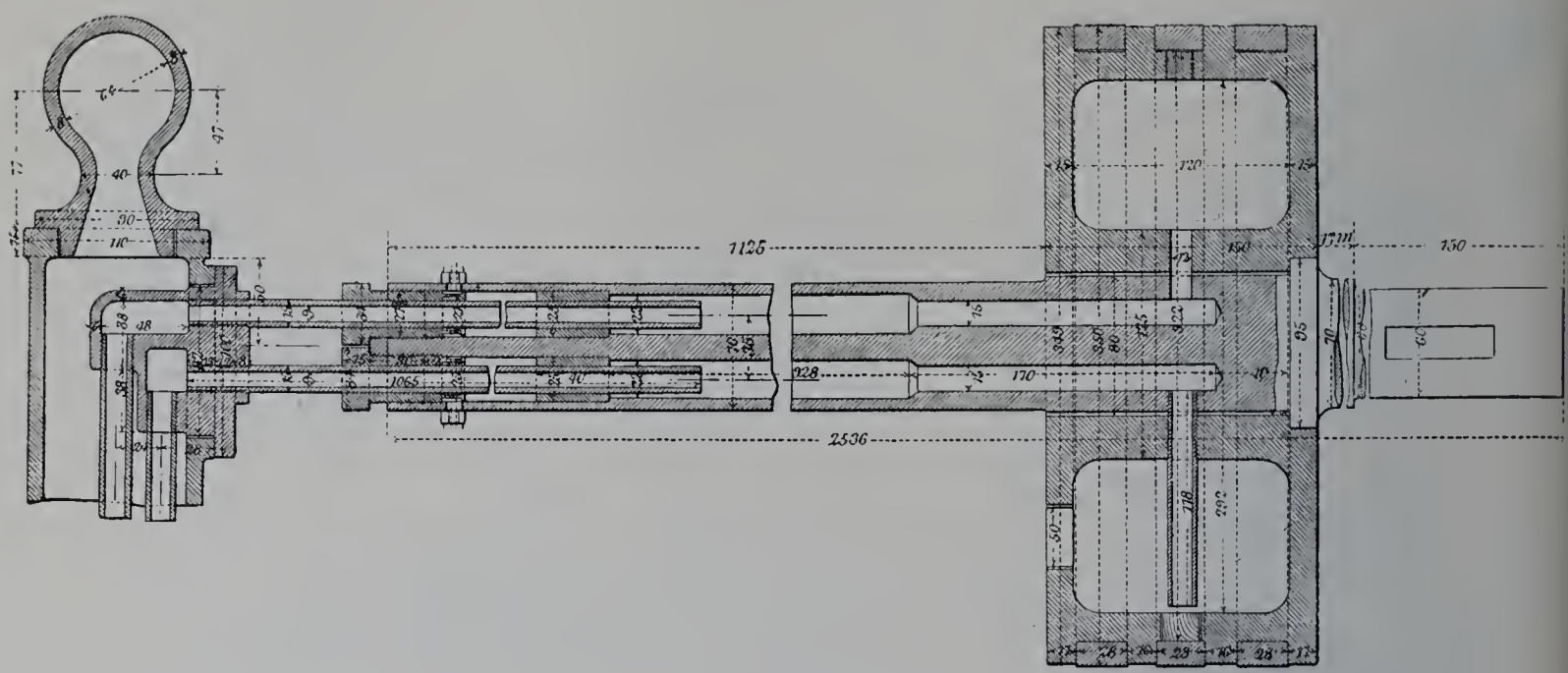


Fig. 316. — Chauffage du piston.

moyen du dispositif dont la figure 316 donne le détail, par une circulation de vapeur vive établie dans la contre-tige.

Les dimensions sont :

$D = 0^m 35$	$\frac{L}{D} = 1.9$
$L = 0^m 68$	
$N = 80$	$\frac{2\,LN}{60} = 1^m 80$

Machines à distribution par deux lumières. — Quittons maintenant les systèmes à quatre distributeurs et passons à une autre classe de machines monocylindriques, celles où le cylindre est percé de deux lumières seulement et où la distribution est donnée par le tiroir plan ordinaire ou par ses dérivés, tiroirs cylindriques, tiroirs superposés, etc. Mentionnons, comme transition, un type dans lequel l'organe distributeur est un robinet oscillant actionné par un mécanisme à déclic, comme le robinet Corliss, mais sert à la fois, comme le tiroir à coquille, pour l'admission et pour l'échappement de la vapeur, de sorte qu'il n'y en a qu'un à chaque extrémité du cylindre. Cette disposition (fig. 317) est celle du moteur de 0 m. 275 d'alésage et 0 m. 55 de course exposé par M. Charles de Coster, de Saint-Denis (Seine).

La distribution par deux lumières au moyen du tiroir ordinaire, plan ou cylindrique, a certes une importance de premier ordre, non seulement comme intérêt historique, mais encore comme situation présente, puisque ce système reste universel, à bien peu d'exceptions près, sur les locomotives et à bord des bateaux. Les qualités qui, dans ces applications, en ont consacré l'usage, conservent toute leur valeur pour les machines fixes à grande vitesse, dont l'examen prendra place plus bas. Pour l'instant, nous examinons les machines à vitesse moyenne, dont le mécanisme s'accommode de mouvements

non harmoniques, et, en particulier, celles à simple expansion, pour lesquelles on a souvent à réduire beaucoup l'introduction. La distribution ordinaire par tiroir ne se prête aucunement aux courtes introductions si le tiroir est unique. Elle peut être corrigée, sous ce rapport, par l'emploi de deux tiroirs plans superposés. Mais le tiroir plan, lorsqu'il s'agit de grandes machines, est un organe encombrant; la force avec laquelle il se trouve appuyé sur sa glace et, comme conséquence, les frottements auxquels son mouvement donne lieu, sont la rançon de son étanchéité; la longueur donnée d'ordinaire aux lumières, pour ne pas exagérer celle du tiroir, rend les espaces nuisibles plus grands qu'il n'est désirable pour une machine monocylindrique et ces lumières risquent d'exercer une action de paroi d'autant plus fâcheuse que, servant à deux fins, elles se sont trouvées refroidies par l'exhaustion quand la vapeur vive y est admise. Pour cet ensemble de raisons, l'on réserve en général la distribution par tiroir, soit aux moteurs de faible puissance, soit aux grandes machines dans les cas spéciaux où celles-ci doivent être reversibles et où elles exigent avant tout un mécanisme à liaisons complètes et d'une absolue simplicité, comme par exemple les moteurs des laminoirs.

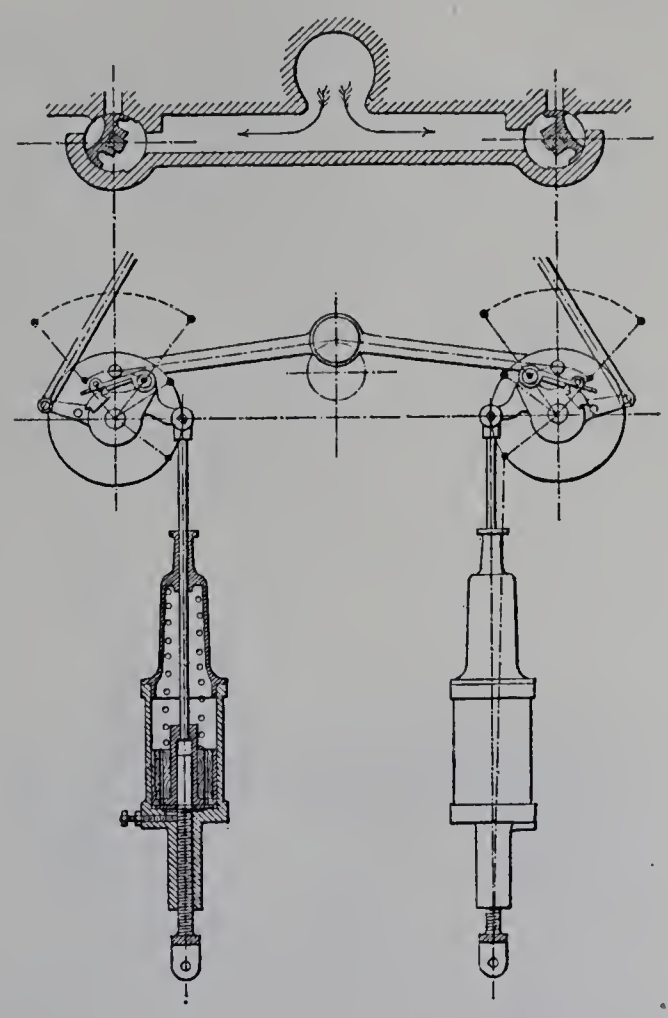


Fig. 317. — Distribution à deux robinets oscillants, avec détente par déclenchement. (M. Ch. de Coster.)

MM. Piguet et Cie. — Pourtant MM. Piguet et Cie, de Lyon, qui se sont fait une spécialité de machines monocylindriques avec distribution par tiroirs superposés, ont poussé la construction du type jusqu'à une unité de 500 à 1,200 chevaux qui fonctionne dans la galerie des groupes électrogènes. Cette puissante machine (fig. 318 à 321) actionne, à une vitesse angulaire de 94 tours par minute, l'inducteur d'un alternateur à courants triphasés, construit par M. A. Grammont, et donnant 860 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,7, soit une puissance vraie de 600 kilowatts environ. Les dimensions sont :

$$D = 0^m 85 \qquad \frac{L}{D} = 1.3$$
$$L = 1^m 10$$
$$N = 93.8 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 3^m 44$$

Avec une pression effective de 8 kilogr. par centimètre carré dans la boîte à tiroir, la puissance indiquée est de 600 chevaux à 8 p. 100 d'admission, 1,000 à 20 p. 100.

IMPRIMERIE NATIONALE.

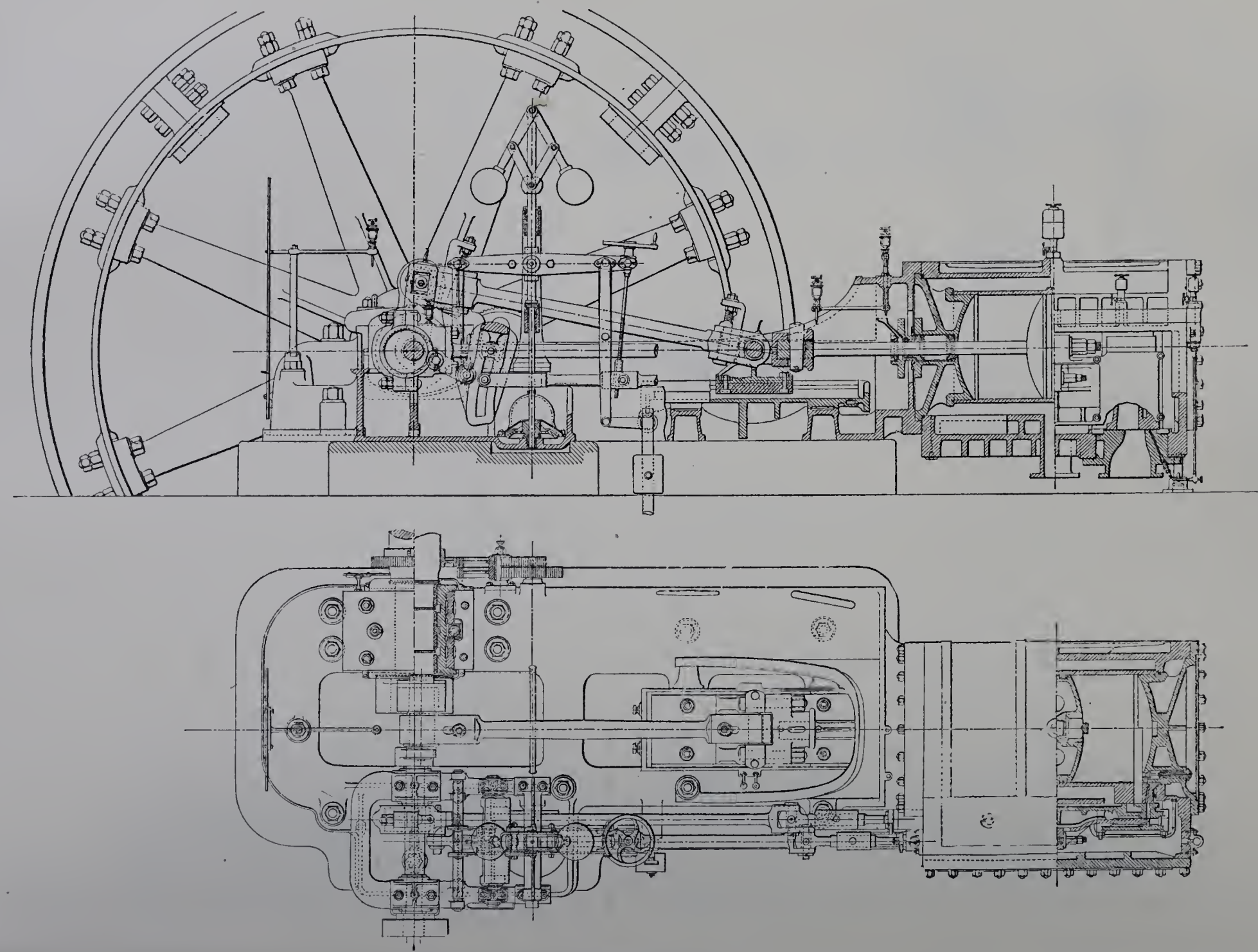


Fig. 518. — Machine Piguet.

Le cylindre, à enveloppe de vapeur complète, est formé de quatre parties : la chemise intérieure, l'enveloppe cylindrique et les deux fonds; ceux-ci sont creux et les deux toiles qui les composent s'assemblent, l'une sur la chemise, l'autre sur l'enveloppe; ces assemblages sont faits avec bagues de caoutchouc.

L'enveloppe ne fait qu'un avec la boîte à tiroirs. Celle-ci, de forme rectangulaire, est placée sur un côté du cylindre, mais non pas symétriquement par rapport au plan horizontal passant par l'axe : en gros, elle est logée dans l'angle formé par ce plan et par le plan méridien vertical (fig. 319). Elle est aussi longue que le cylindre lui-même, en vue, comme nous allons le voir, de la réduction des espaces morts; mais il en résulte, pour le couvercle boulonné qui la ferme latéralement et qui sert à donner accès au mécanisme intérieur de distribution, des dimensions considérables lorsqu'il s'agit d'une grande machine.

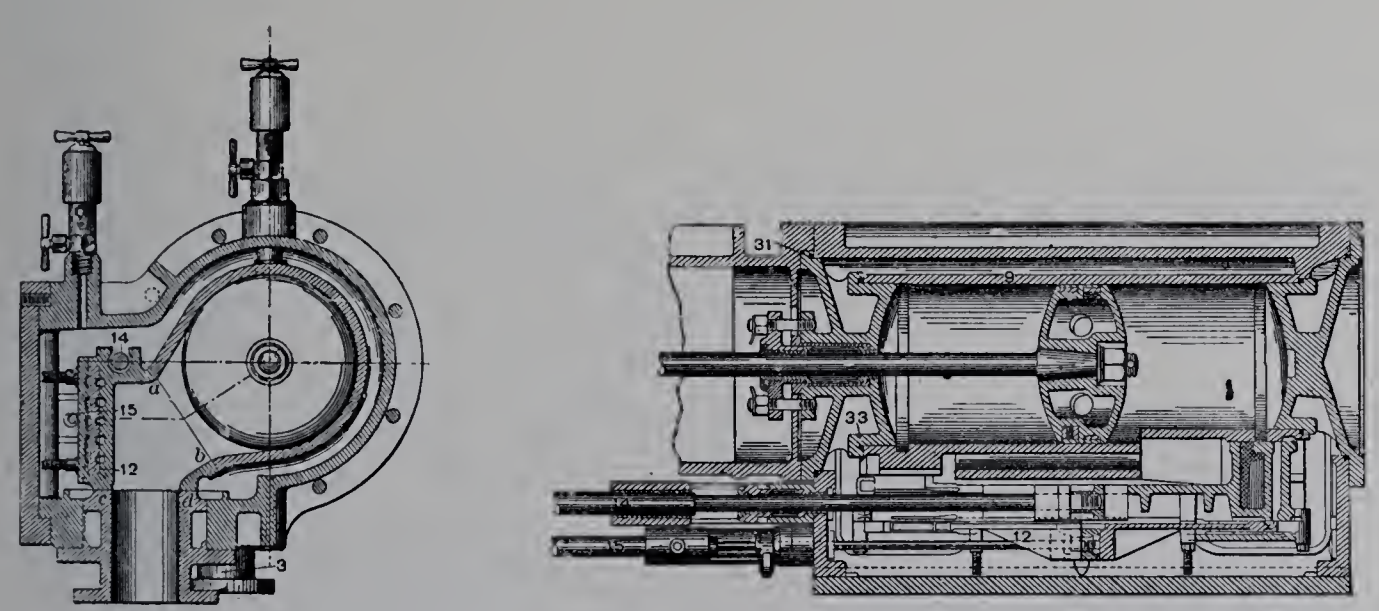


Fig. 319. — Détails du cylindre et du double tiroir.

La crosse est guidée sur une glissière unique. La machine n'est destinée, bien que dotée d'un mécanisme de distribution à liaisons complètes, qu'à un seul sens de rotation. En prévision cependant des réactions tendant à écarter le patin de la glissière, celle-ci se compose de deux bandes de glissement séparées par une rainure centrale et dans cette rainure passe un appendice évasé fixé sous le coulisseau.

Abstraction faite des dispositions relatives à la détente, la distribution est donnée par un tiroir unique qui n'est ni plan, ni cylindrique, mais prismatique : sa section transversale, au lieu d'être circulaire comme celle d'un tiroir cylindrique, est un triangle rectangle. Ce tiroir, animé suivant son axe d'un mouvement de va-et-vient, est appliqué, par sa face hypoténuse, contre la table des lumières *a b* et, par l'une des faces adjacentes, contre une deuxième surface de glissement *c d*, dans laquelle s'ouvrent les communications avec le condenseur; enfin, sur la troisième face du prisme, est appliquée, avec un serrage réglable, une troisième glissière, aux extrémités de laquelle se trouvent des communications avec l'arrivée de vapeur. Le prisme joue ainsi entre les trois surfaces de glissement qui l'entourent, comme un tiroir cylindrique dans son logement à section

circulaire; et de même que le tiroir cylindrique se compose essentiellement de deux pistons à écartement fixe, dont chacun a l'une de ses faces en communication permanente avec le générateur, l'autre avec le condenseur, et qui vont et viennent respectivement sur les deux lumières, de même en est-il de ce tiroir prismatique : en principe, il se compose de deux plateaux triangulaires, invariablement reliés l'un à l'autre et formant pistons.

L'écartement de ces deux plateaux est sensiblement égal à la longueur du cylindre, de telle sorte que les deux lumières sont aussi courtes que possible; chacune d'elles va directement, suivant le plan normal, de la paroi intérieure du cylindre à la table de glissement sur laquelle se meut la face hypoténuse du tiroir. Grâce à cette disposition, jointe à la concordance des formes du piston et des fonds de cylindre, les espaces morts ne dépassent pas 2.25 pour 100.

Le long intervalle existant, en conséquence, entre les deux plateaux distributeurs, n'a pas été mis tout entier en communication avec le condenseur : le tiroir est divisé en deux parties La partie Æ comprend, outre le plateau distributeur Æ, une autre toile triangulaire placée à distance convenable à l'avant de ce plateau; c'est l'intervalle compris entre le plateau et cette toile qui se trouve en communication permanente avec le vide, parce que, sur ce que nous avons appelé la deuxième face du glissement, s'ouvre un conduit allant au condenseur, placé de telle manière qu'il soit constamment compris dans cet intervalle. De même, un deuxième conduit allant au condenseur met en communication permanente avec le vide l'intervalle compris entre le plateau distributeur Æ et une toile qui double ce plateau à distance convenable de sa face Æ.

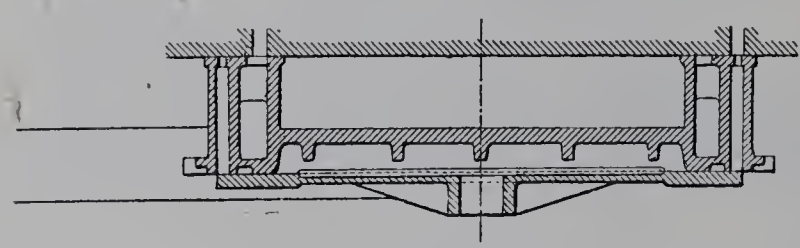


Fig. 320. — Machine Piguet.
Schéma des deux tiroirs superposés.

Voilà pour l'échappement. En ce qui concerne l'admission, la détente est produite suivant le principe ordinaire des distributions à tiroirs superposés (fig. 320). Nous avons dit que la troisième face du tiroir-prisme était recouverte d'une glissière fixe, aux extrémités de laquelle la vapeur vive avait accès. Cette glissière fixe n'est pas directement appliquée sur le tiroir : entre les deux est interposé le tiroir de détente, en forme de tuile plate. Pour parler plus exactement, glissière et tuile sont, comme le tiroir, divisées en deux parties : le tiroir de détente se compose de deux tuiles invariablement reliées entre elles et servant à interrompre l'admission, l'une à l'Æ, l'autre à l'Æ; sur chacune de ces tuiles est appliquée une contre-tuile formant glissière fixe.

Pour que les tuiles de détente puissent empêcher la vapeur d'accéder aux faces extérieures des plateaux de distribution, il faut que ces plateaux, déjà doublés de toiles auxiliaires du côté de l'intervalle qui les sépare, soient en outre doublés de nouvelles toiles du côté opposé : ainsi, la partie Æ du tiroir comprend, à petite distance à l'arrière du plateau correspondant, une toile triangulaire; c'est l'intervalle entre le plateau et cette toile qui se trouve mis, par une lumière mobile située sur ce que

nous avons appelé la troisième face du prisme, en communication avec l'arrivée de vapeur vive. La toile de détente, qui joue sur cette même face, intervient en coupant cette communication.

Au total, chacune des deux parties, *R* et *V*, du tiroir, forme un piston triangulaire creux à trois toiles; la toile intermédiaire constitue le plateau distributeur proprement dit; l'un des intervalles entre toiles sert à l'admission de la vapeur, l'autre à l'échappement; ce dernier intervalle est en communication permanente avec le condenseur, tandis que l'autre n'est en communication avec l'arrivée de vapeur que si le tiroir de détente n'en vient pas couper l'accès.

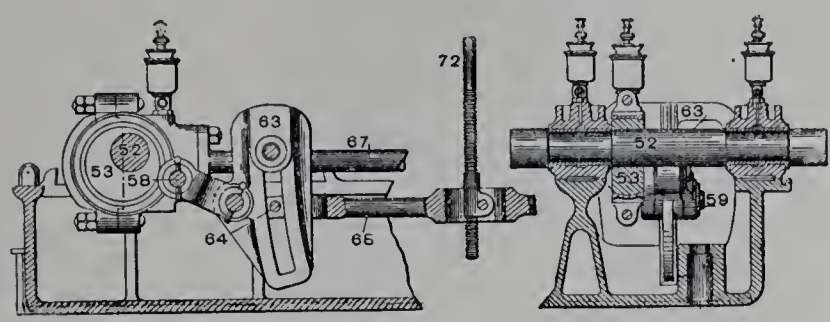


Fig. 321. — Commande des tiroirs.

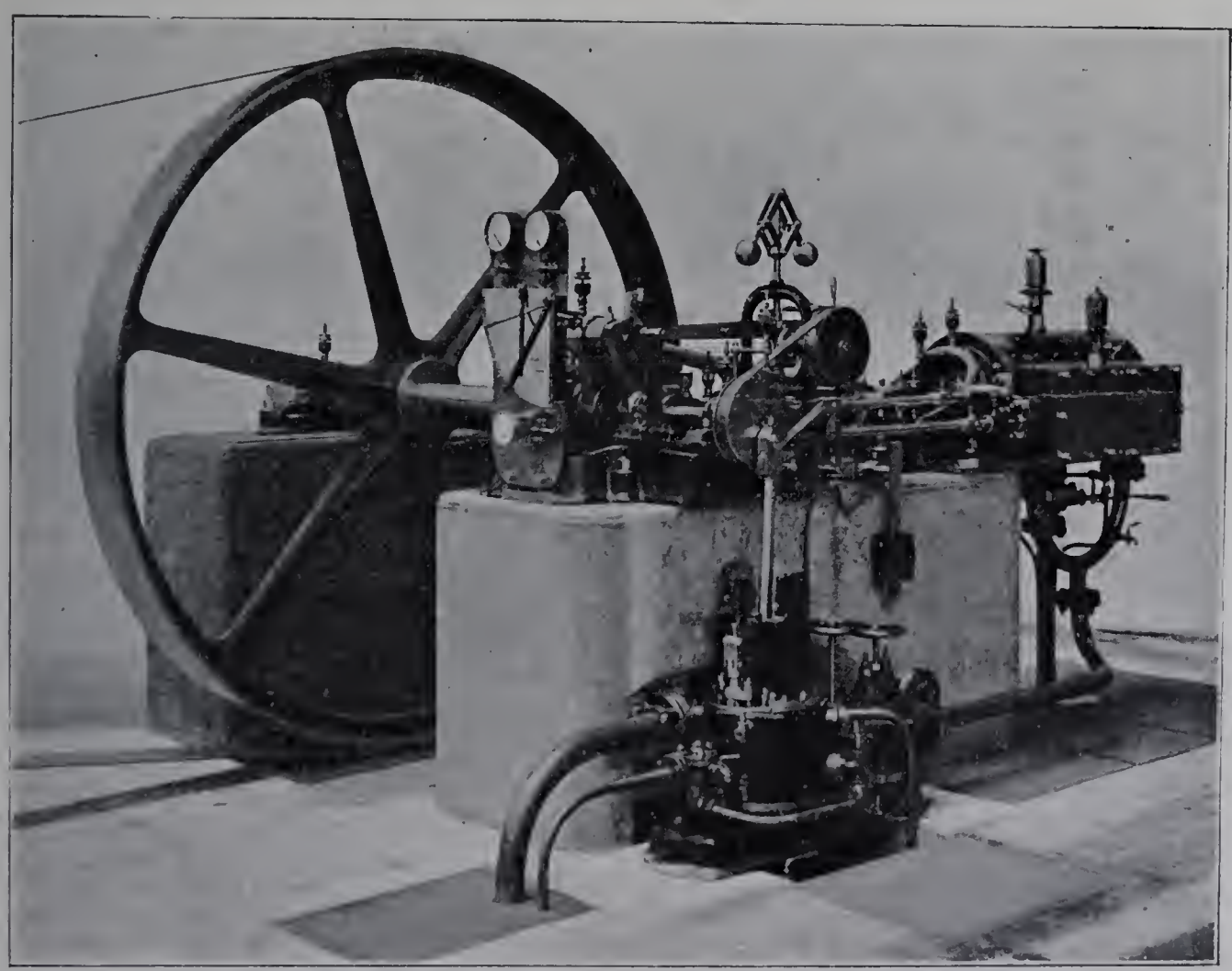


Fig. 322. — Vue d'une machine Piguet de modèle courant.

Le tiroir principal de distribution est commandé d'une manière invariable par un excentrique (53, fig. 321) calé, non sur l'arbre même de la machine, mais sur un arbre auxiliaire (52) placé en prolongement, à la suite de la manivelle motrice : celle-ci et la contre-manivelle commandant l'arbre auxiliaire forment un ensemble comparable

à un vilebrequin. Cette disposition place la boîte de distribution du côté opposé à l'arbre moteur. Le mouvement du tiroir de détente est pris sur le même excentrique, en un point du collier situé en (58), légèrement au-dessous de l'axe de la barre (67). Le mouvement de ce point est transformé, par une biellette oblique, en un mouvement oscillatoire d'une coulisse (63) autour d'un point fixe; dans cette coulisse est suspendu à hauteur variable, sous l'action du régulateur à force centrifuge agissant sur (72), un coulisseau (64) formant la tête d'une bielle (68) attelée au tiroir de détente. Celui-ci prend donc un mouvement alternatif, déphasé par rapport à celui du tiroir principal et d'une amplitude largement variable au gré du régulateur. Le nombre des articulations ne dépasse pas 7 pour toute la distribution.

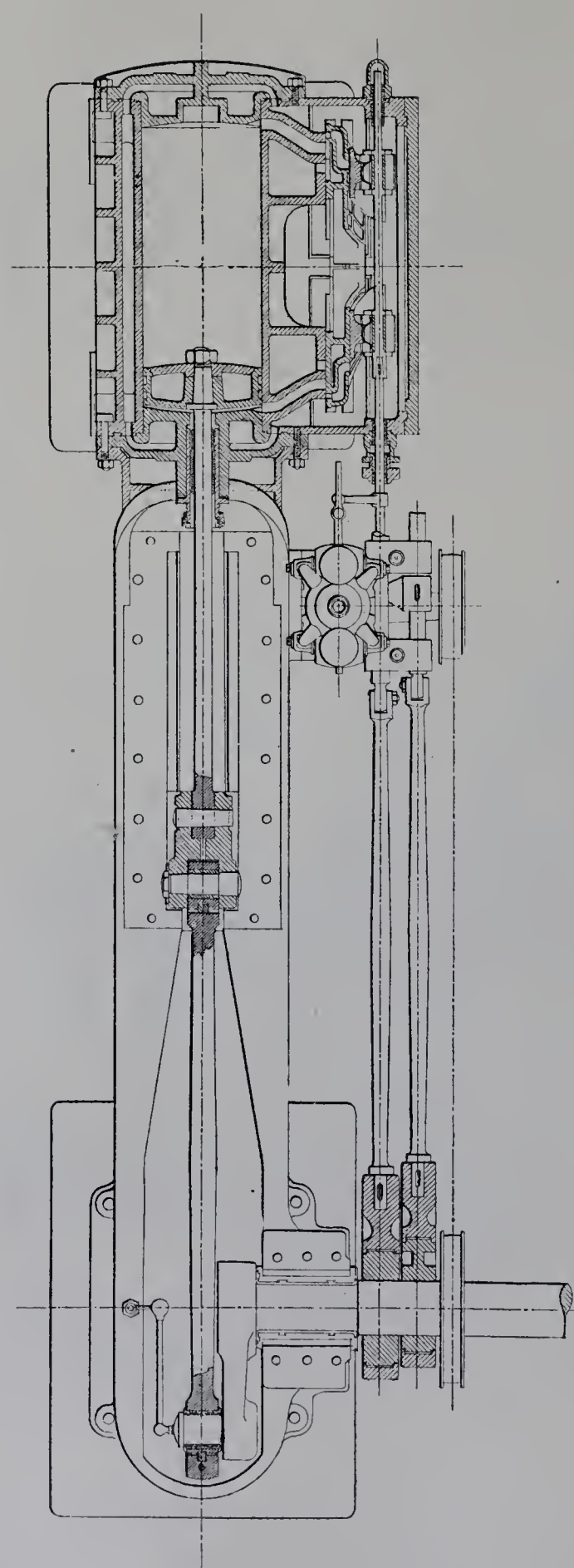


Fig. 323. — Machine horizontale monocylindrique à détente Rider, de 200 chevaux. (MM. Buffaud et Robatel.)

Cette machine occupe le degré supérieur de l'échelle des dimensions sur laquelle MM. Piguet construisent le type. La figure 322 montre l'aspect d'un exemplaire de modèle courant. Une unité de 20 à 25 chevaux, offrant ces dispositions générales, figure comme appareil auxiliaire du groupe électrogène et actionne l'excitatrice de l'alternateur.

Machines diverses à tiroirs plans. — Sans aller jusqu'à des puissances exceptionnelles pour le système, divers constructeurs exposent d'intéressantes machines monocylindriques horizontales avec distribution par tiroirs plans. Celle de MM. B. Buffaud et T. Robatel, de Lyon, est un moteur de 200 chevaux, dont le cylindre mesure 0 m. 45 d'alésage et 0 m. 90 de course; la distribution est du type Rider; le régulateur, du type Buss; les figures

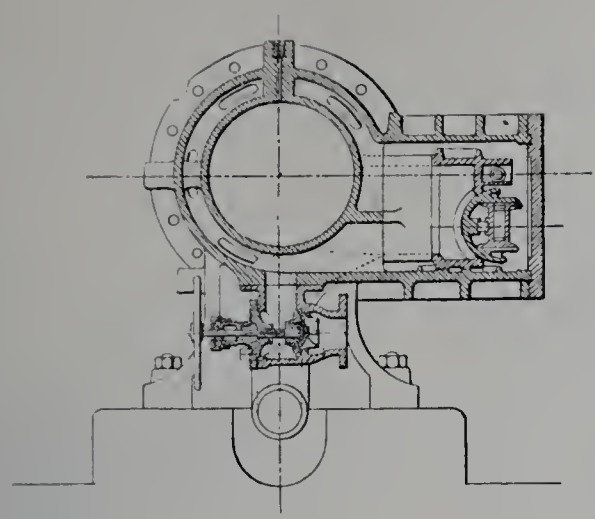


Fig. 324. — Coupe transversale du cylindre.

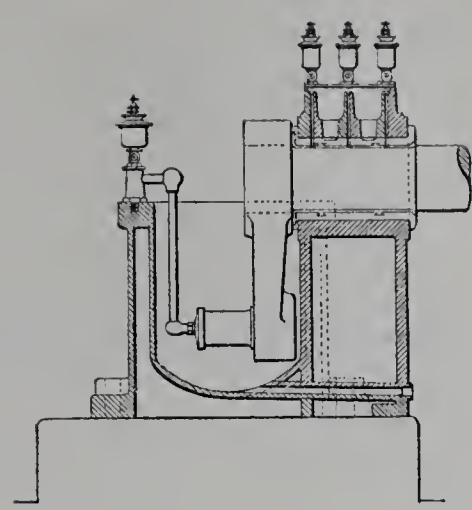


Fig. 325. — Coupe du palier de manivelle.

Fig. 326. — Élévation avec coupes de la boite à tiroir, de la pompe à air et du purgeur automatique.

323 à 326 en montrent les dispositions essentielles. M. Alexandre Aubert, de Paris, présente une machine de 0 m. 33 de diamètre et 0 m. 66 de course, développant 80 chevaux à 100 tours par minute, où il a réduit les espaces morts au minimum en divisant la boîte à vapeur en deux parties; la distribution est du système Meyer

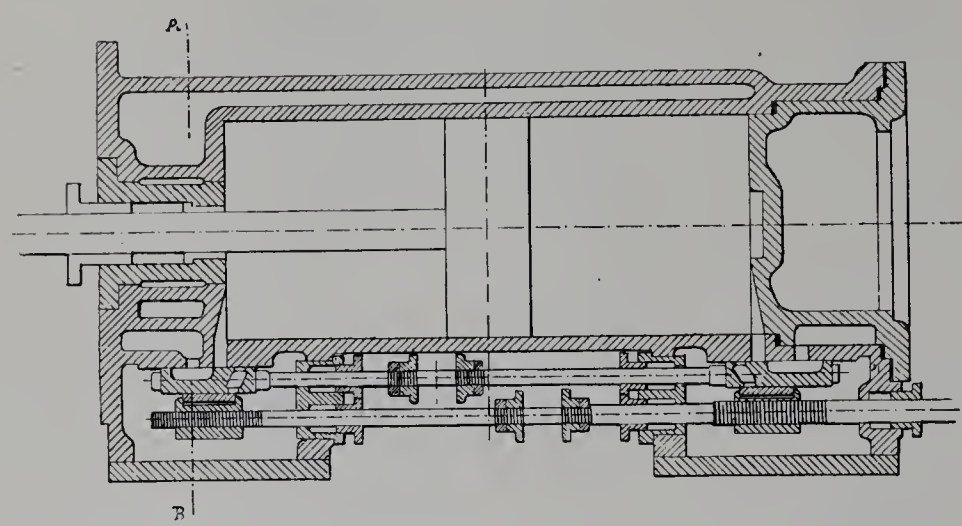


Fig. 327. — Machine de 80 chevaux de M. A. Aubert. Coupe longitudinale du cylindre.

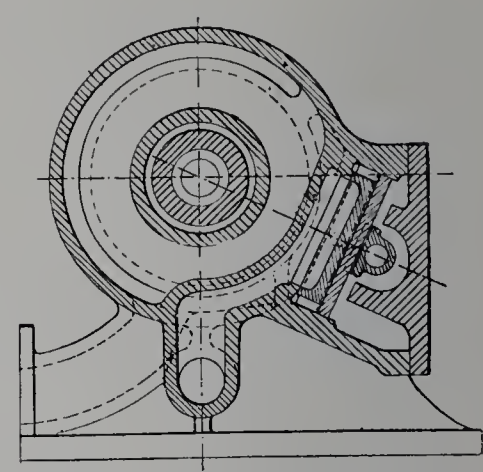


Fig. 328. — Coupe par AB de la fig. 328.

(fig. 327 et 328). MM. G. Lefebvre-Albaret, G. Laussedat et Cie, de Rantigny-Liancourt (Oise) exposent une machine développant aussi 80 chevaux, mais à 70 tours par minute seulement, de sorte que les dimensions du cylindre sont plus grandes (D = 0 m. 435, L = 0 m. 80); on y trouve également la division de la boîte à tiroir

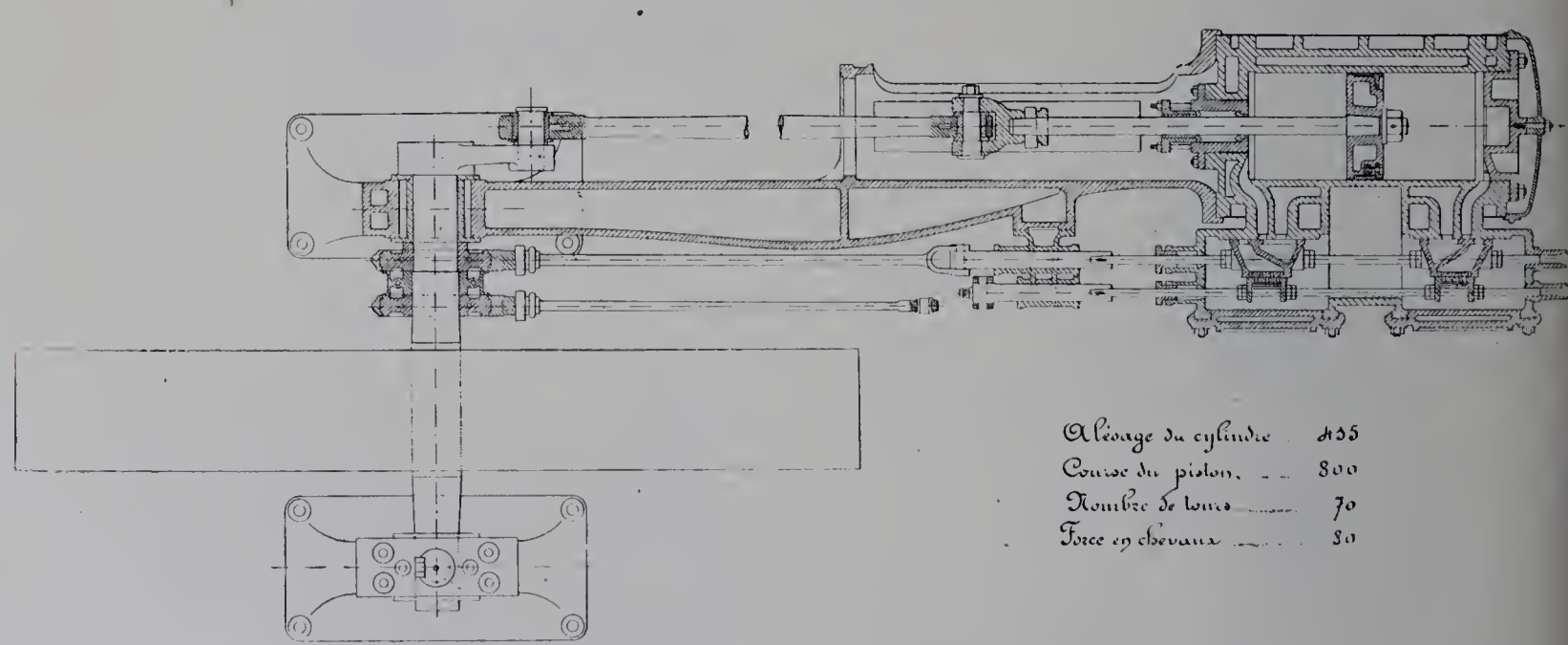


Fig. 329. —Machine de 80 chevaux à 70 tours par minute, de MM. Lefebvre-Albaret, Laussedat et Cie. — Plan.

en deux parties; la distribution est à deux tiroirs superposés et le mouvement des tuiles de détente est sous la dépendance d'un régulateur Porter (fig. 329 et 330). La maison Albaret expose aussi une petite machine de 6 chevaux à 135 tours. Deux exposants belges, la Société anonyme liégeoise pour la construction des machines et M. Joseph Heinrichs, de Hodimont-Verviers, présentent des machines de 0 m. 30 d'alésage et

0 m. 50 de course, développant 40 chevaux à 120 tours par minute : les figures 331 à 333 donnent, à titre d'exemple, les dispositions de la première de ces deux machines,

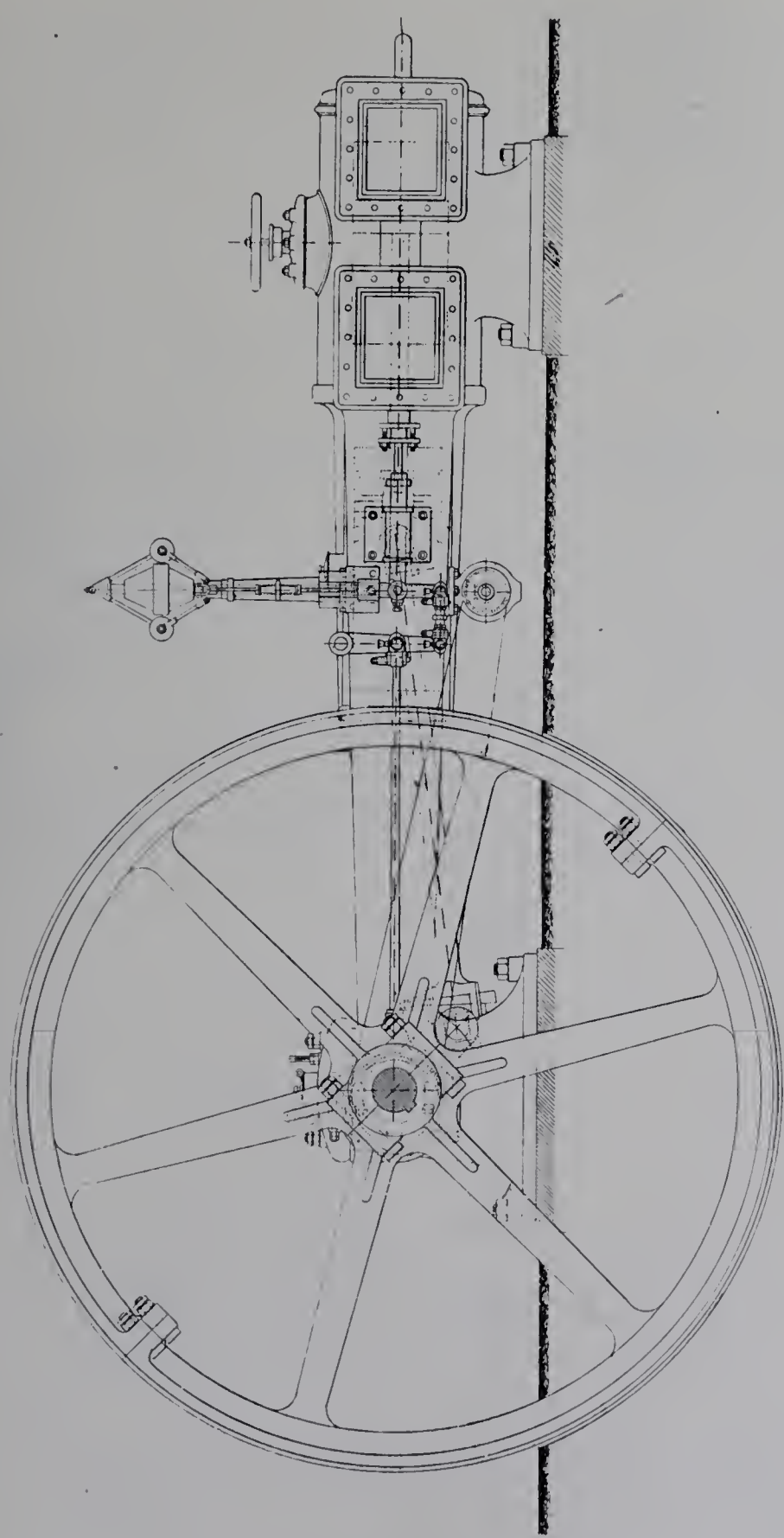


Fig. 330. — Élévation de la machine Lefebvre-Albaret, Laussedat et Cie.

dont la distribution est du type Rider et placée sous la dépendance d'un régulateur Hartung. MM. Garnier et Faure-Beaulieu construisent, pour les puissances modestes, des machines dont la distribution est donnée par un tiroir simple de forme circulaire et

dont le régulateur agit sur un papillon interposé sur l'arrivée de vapeur (fig. 334). Citons encore MM. Popineau-Vizet fils et Cie, de la Plaine Saint-Denis (Seine), qui

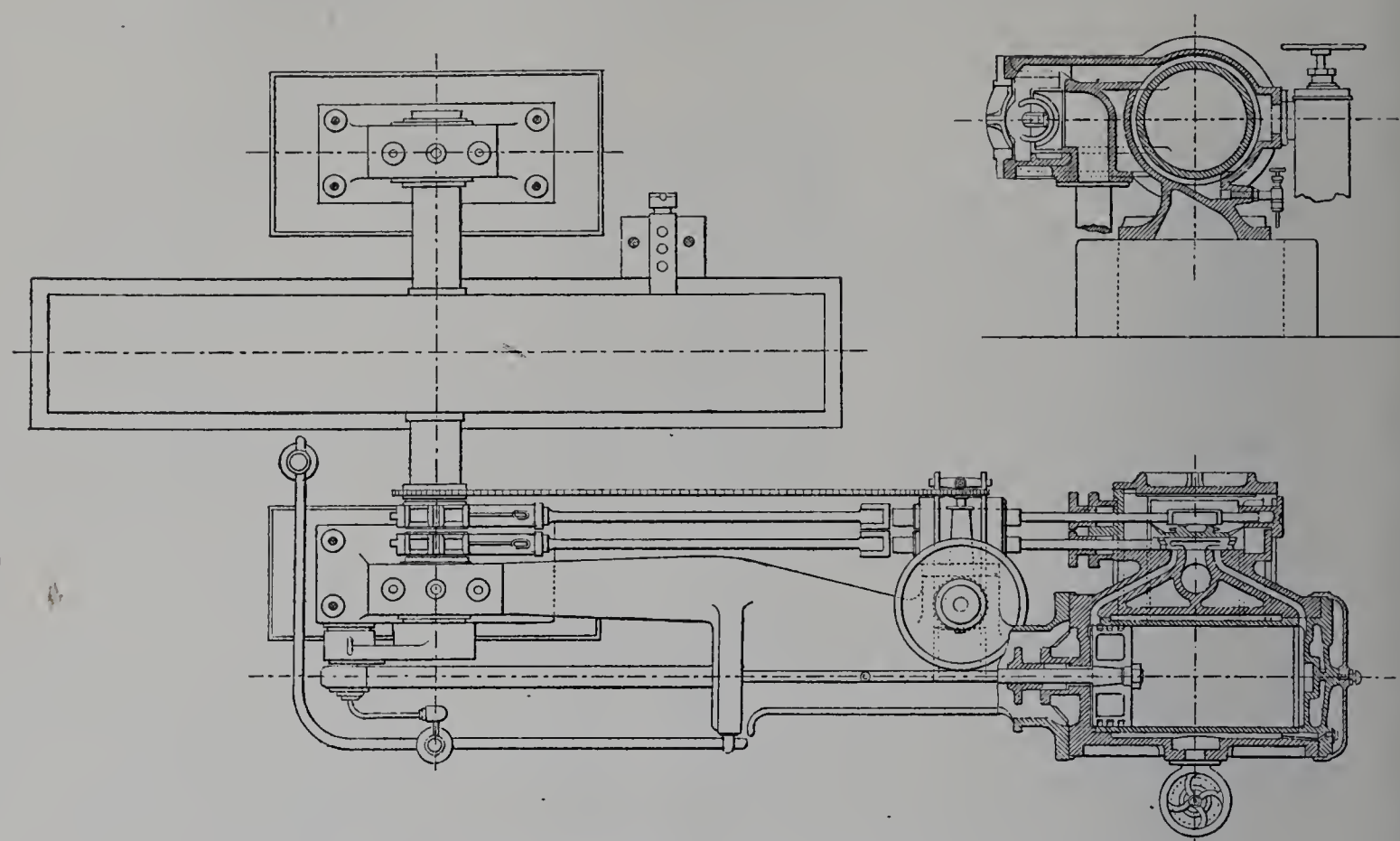


Fig. 331. — Machine de 40 chevaux à 120 tours par minute, de la Société liégeoise pour la construction des machines. — Plan et coupes.

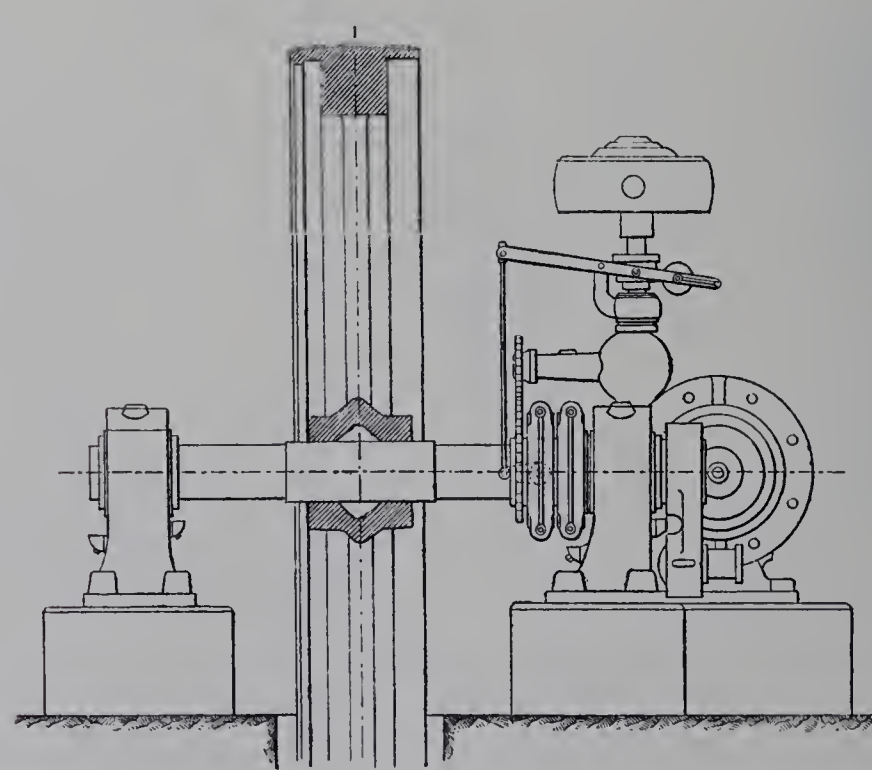


Fig. 332. — Elévation transversale.

exposent une machine fixe de 25 chevaux à l'admission de 2/10 et à la vitesse de 135 tours par minute, avec une distribution du genre Meyer, variable au régulateur.

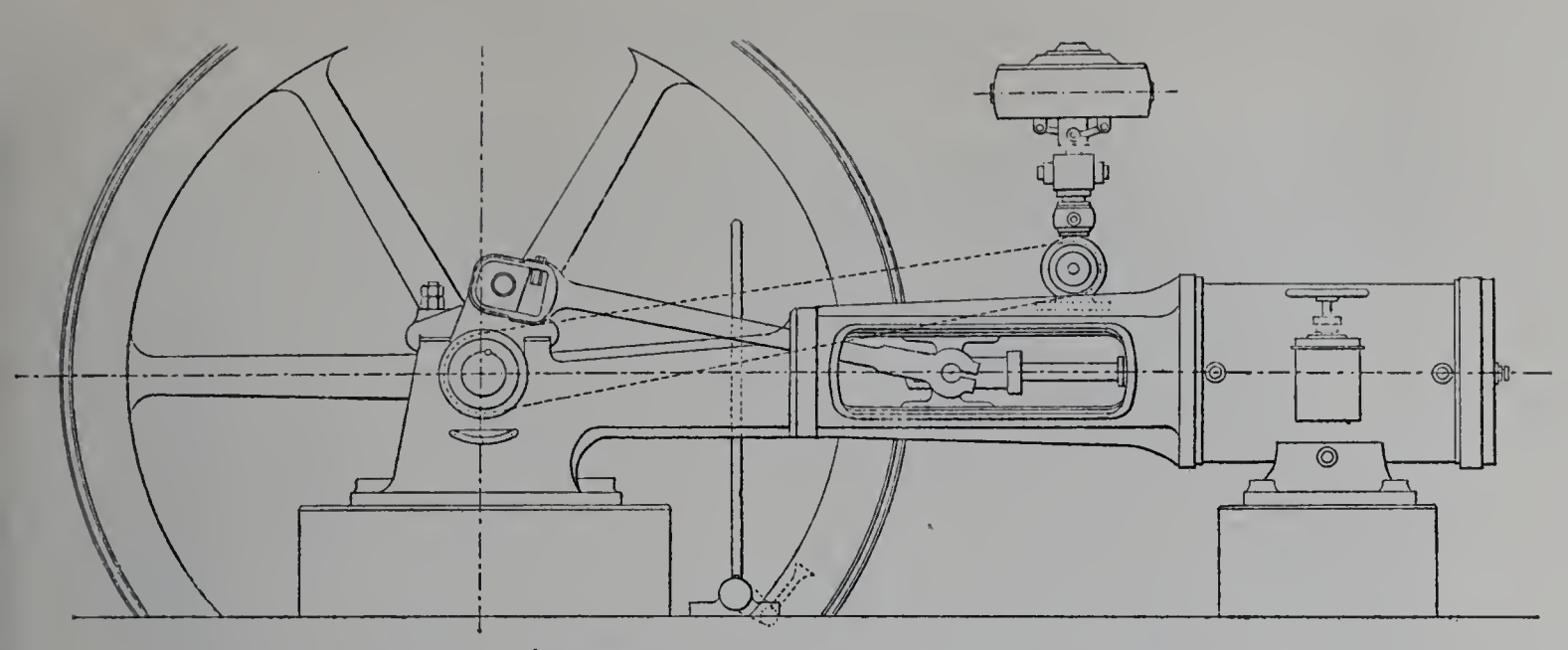


Fig. 333. — Élévation longitudinale. (Machine de la Société liégeoise.)

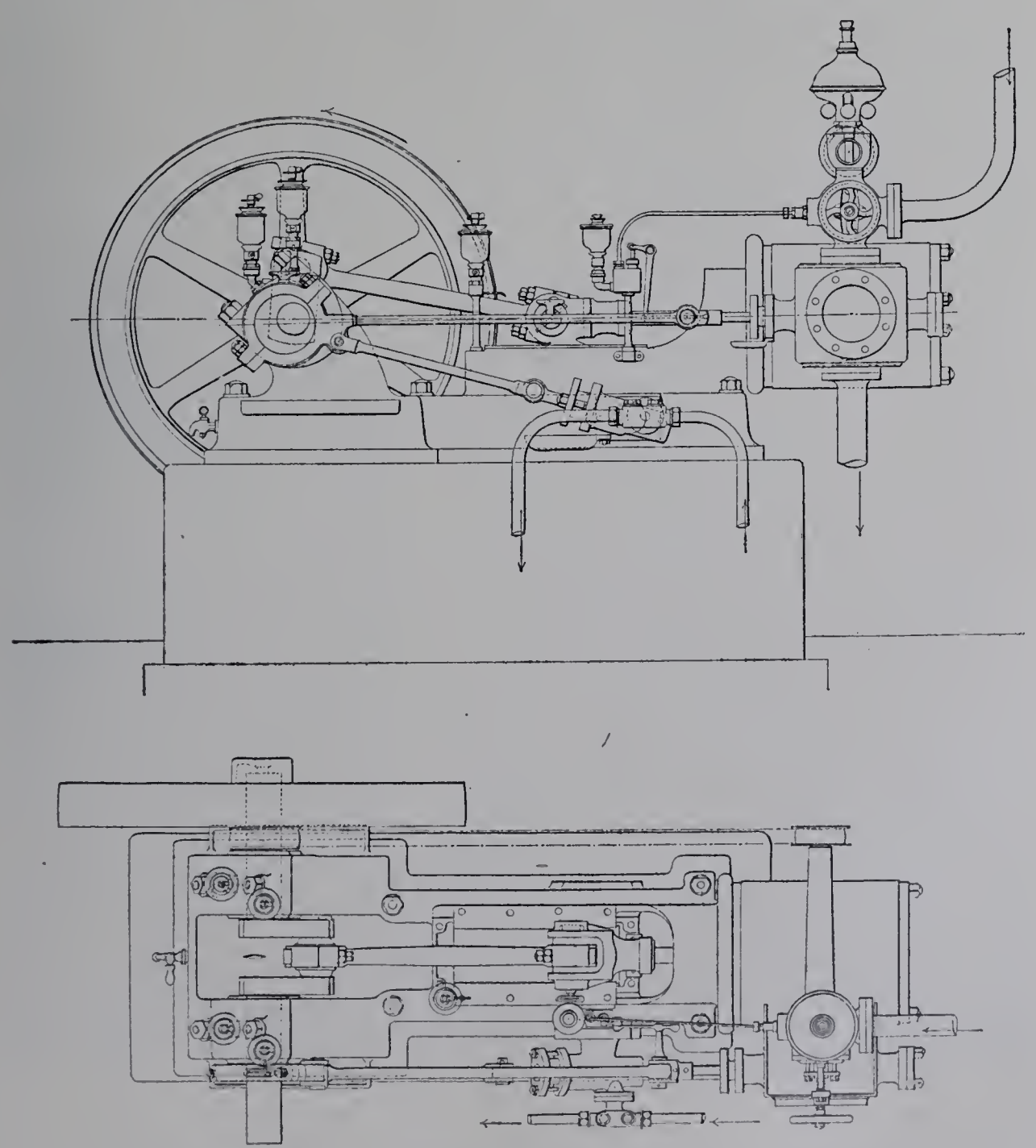


Fig. 334. — Machine à tiroir circulaire, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

Machine à distribution par tiroir, système Claude Bonjour. — Dans toutes les machines que nous venons d'énumérer, les mouvements des tiroirs sont harmoniques ou très sensiblement tels. Il en est différemment dans la curieuse machine horizontale monocylindrique de 350 chevaux construite par MM. Schneider et Cie, du Creusot, sur les plans de M. Claude Bonjour (fig. 335 à 343). Cet inventeur s'est proposé le problème suivant :

Au moyen d'un tiroir unique, réaliser une distribution qui, à l'instar de la distribution Corliss, donne une introduction variable sous la dépendance du régulateur, avec large ouverture et fermeture rapide de la lumière, en laissant néanmoins constantes les avances et la compression.

Imaginons un tiroir ordinaire commandé par un excentrique et animé en conséquence d'un va-et-vient harmonique. Supposons maintenant qu'arrivé à une certaine fraction de chacune de ses courses simples, ce tiroir subisse rapidement un mouvement rétrograde d'une certaine amplitude, puis reprenne la même succession de vitesses que si cette perturbation n'avait pas eu lieu. Il résulte de là deux conséquences ; d'une part, la course se trouve diminuée de la longueur du mouvement perturbateur, d'autre part, si cette longueur est convenablement calculée, la régression, survenant alors que le tiroir a déjà ouvert à l'admission la lumière correspondant à l'une des faces du piston, referme cette lumière et met fin à l'introduction. En faisant intervenir plus ou moins tôt le mouvement auxiliaire, on obtient donc une détente plus ou moins prolongée.

Toutefois une objection se présente à l'esprit. En interrompant ainsi le mouvement harmonique du tiroir pour le faire rétrograder rapidement et couper l'admission sur l'une des faces du piston, la face Æ par exemple, n'étrangle-t-on pas prématurément l'échappement pour la face N ?

Il en est ainsi. Mais remarquons qu'il n'est pas nécessaire, pour couper l'admission sur la face Æ, que le mouvement auxiliaire ramène le tiroir jusqu'à sa position moyenne : il peut lui laisser une élongation vers l'avant, pourvu que celle-ci n'excède plus le recouvrement extérieur Æ. La lumière N restera ouverte à l'échappement de tout l'excès de cette élongation sur le recouvrement intérieur N. Il suffit donc que les recouvrements extérieurs soient assez grands, les recouvrements intérieurs minimes, et que l'influence du mouvement perturbateur s'éteigne aussitôt que la position nécessaire pour la fermeture de l'admission est atteinte. Dans ces conditions, le mouvement de régression, qui coupe l'admission sur une face, réduit bien le passage de la vapeur d'échappement relativement à l'autre face, mais ce passage conserve une grandeur suffisante pour que l'exhaustion n'en souffre pas.

Le commencement de l'échappement anticipé, celui de la compression et celui de l'admission anticipée, ayant lieu en dehors des portions de la course susceptibles d'être affectées par la perturbation, demeurent fixes nonobstant les variations de la détente.

Reste à dire comment ces effets sont obtenus. La figure 336, qui n'est d'ailleurs qu'un schéma défectueux comme proportions, fait comprendre le principe du mécanisme. Le mouvement harmonique est pris sur l'excentrique OC et transmis par la bielle CB, le

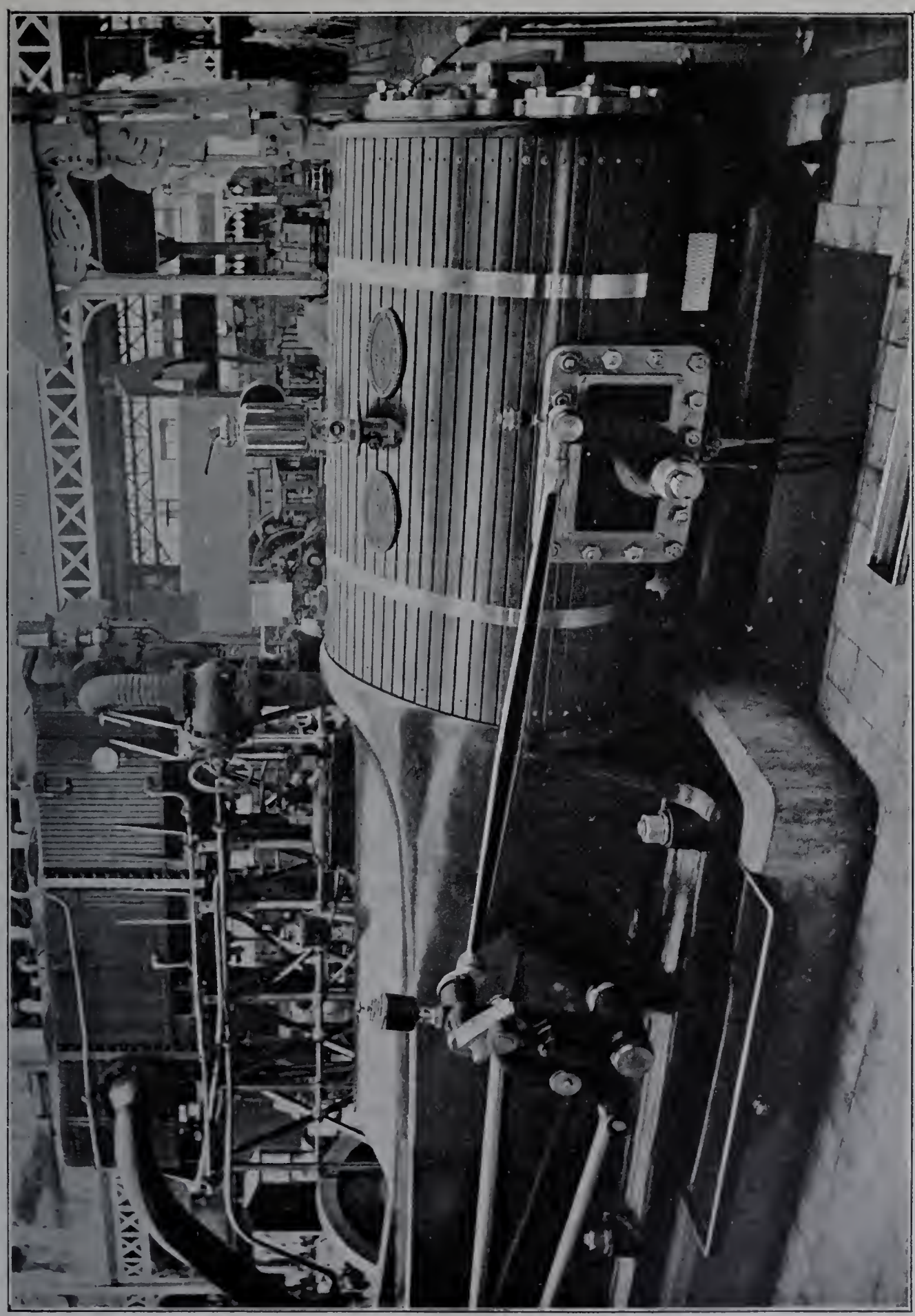


Fig. 335. — Machine à distribution Claude Bonjour. (MM. Schneider et Cie.)

balancier principal dont l'extrémité mobile est en H, la bielle GI et le levier coudé IKT. L'extrémité G de la bielle GI est reliée au balancier H par une biellette HG, tête d'un levier coudé GHF dont la queue est en forme de glissière. Si ce levier coudé, au lieu

d'être articulé en H sur le balancier principal, était invariablement fixé sur celui-ci, le mouvement de G serait constamment celui d'un point du balancier et, abstraction faite des légères déformations résultant des renvois de mouvement, le tiroir aurait à tout instant même vitesse que la projection horizontale du point C. Mais, sur le balancier principal, est articulé en E un balancier auxiliaire D F, dont l'extrémité D est conduite, au moyen de la bielle C′ D, par un excentrique C′ à calage variable, et dont l'extrémité F est un coulisseau engagé dans la coulisse du levier coudé G H F. Au cours de l'oscillation du balancier principal, le balancier auxiliaire prend un mouvement relatif d'oscillation par rapport à lui : l'angle E s'ouvre tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Tant que cet angle est assez ouvert pour que l'angle F du triangle E F H soit voisin d'un angle droit, le glissement du coulisseau est à peu près sans influence sur la valeur de l'angle H du même triangle et le point G se meut presque comme s'il était solidaire du balancier principal. Mais plus l'angle E est aigu, plus une variation donnée de cet angle entraîne un déplacement angulaire important du levier coudé F H G par rapport au balancier principal. L'effet est maximum quand l'angle E passe par zéro. A raison des proportions des diverses pièces, dont on prend une idée juste à l'inspection de la figure 337, on peut dire que pratiquement le mouvement harmonique est seul influent pendant la plus grande partie de l'oscillation, et que le mouvement auxiliaire intervient temporairement et rapidement lorsque, pour ainsi dire, la paire de ciseaux se ferme pour se rouvrir ensuite en sens contraire. L'instant de cette fermeture dépend du calage de l'excentrique O C′.

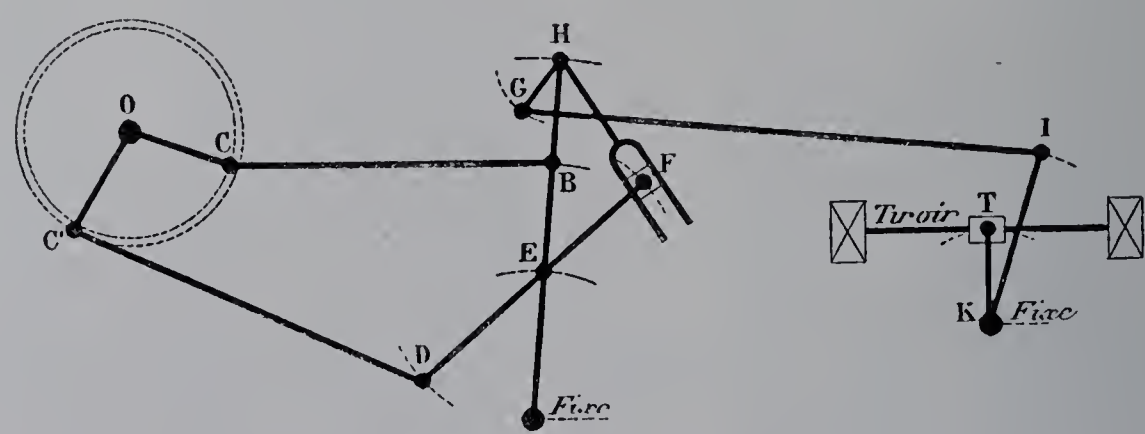


Fig. 336. — Schéma de la distribution à tiroir, système Claude Bonjour.

Cette distribution ne saurait s'accommoder d'une vitesse de rotation quelconque ; car, s'il est vrai que le mécanisme est à liaisons complètes, ces liaisons mêmes imposent au tiroir et à sa bielle de commande G I des accélérations considérables : elles le seront d'autant plus, pour une vitesse angulaire donnée, que l'on aura proportionné le mécanisme en vue d'une fermeture plus prompte de l'admission. A faire tourner trop vite un système ainsi constitué, l'on risque, non de compromettre la netteté de la distribution tant que les pièces ne prennent pas de jeu, mais d'exposer celles-ci à des réactions violentes ; en passant à l'extrême on aurait à craindre des ruptures. Il y a donc une balance à tenir entre la beauté de l'épure de distribution et la rapidité de la machine.

Fig. 337. — Détail du mécanisme de commande du tiroir.

Fig. 338. — Plan d'ensemble de la machine.

Voici quelles sont les données de construction du moteur exposé :

$$D = 0^{m}50 \qquad \frac{L}{D} = 2$$
$$L = 1^{m} \qquad$$
$$N = 150 \qquad \frac{2LN}{60} = 5^{m}$$

La puissance normale est de 350 chevaux, avec pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré et 10 p. 100 d'admission.

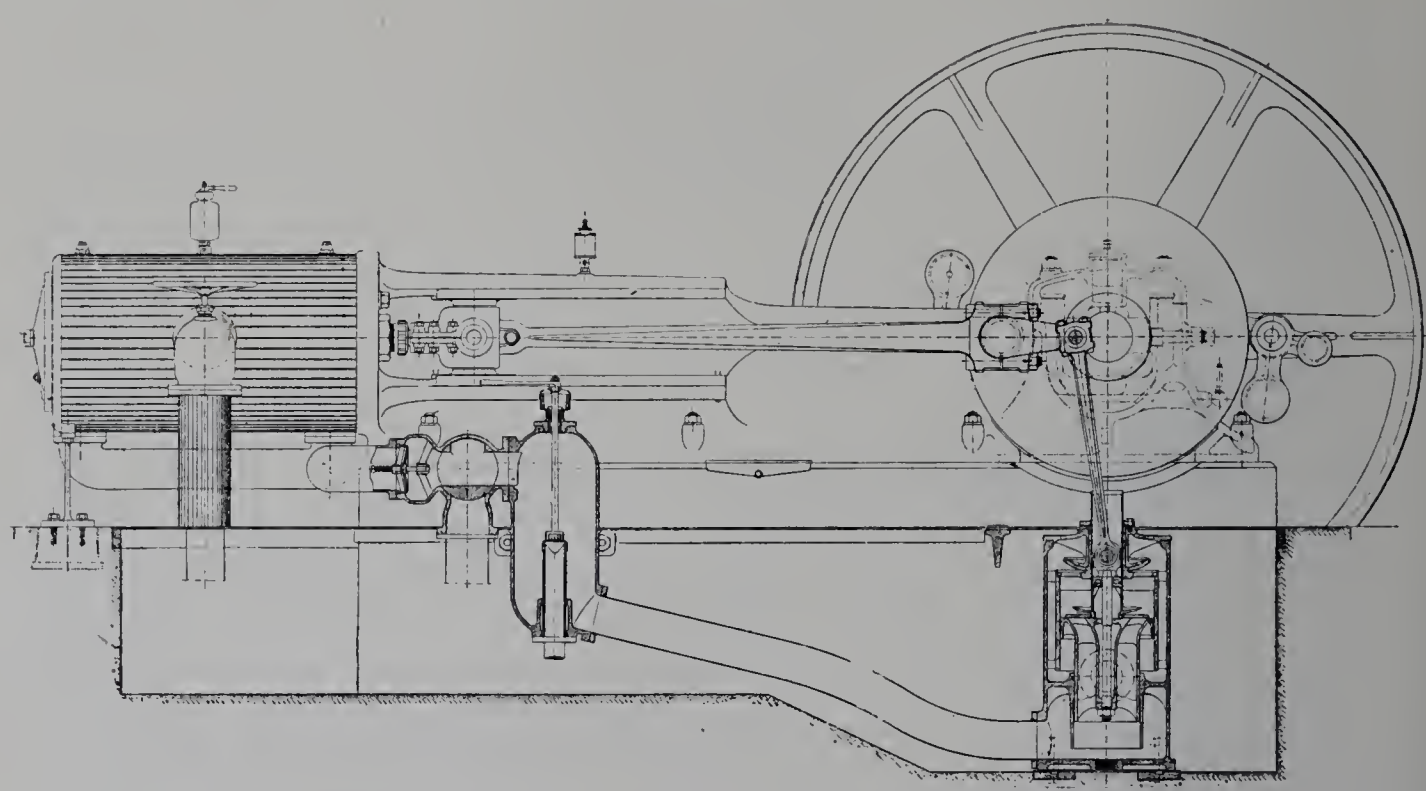


Fig. 339. — Élévation du côté opposé au mécanisme de distribution.

Le bâti à baïonnette fait corps avec le palier principal dont les coussinets, réglables latéralement, sont lubrifiés par deux bagues roulantes. Ce bâti, de forme robuste, est léger de fonderie; pour augmenter sa stabilité et lui enlever toute résonnance, il a été, lors de l'installation, rempli de maçonnerie. Son assemblage avec le cylindre est d'un système tout particulier : il est obtenu au moyen d'un boulon axial creux, en acier, dans lequel passe la tige du piston, de telle sorte que ce boulon d'attache forme en même temps la boîte du presse-étoupe. A l'arrière, le cylindre est simplement soutenu par une béquille. Pour le cas où son axe ne serait pas rigoureusement normal à celui de l'arbre, les patins de glissière ont reçu une liberté de rotation autour d'un axe vertical. La crosse qui porte ces patins et dans laquelle est vissée l'extrémité de la tige du piston, est une pièce en acier moulé, avec axe démontable pour la petite tête de bielle; un serrage par boulons assure à la fois la fixité de cet axe et celle de la tige du piston.

Le piston, creux et à faces planes, est formé de deux pièces, appliquées l'une contre l'autre par le serrage du boulon qui assemble le tout sur la tige; cette disposition permet la mise en place facile de l'anneau de garniture, muni intérieurement d'un ressort pour assurer l'uniformité du portage.

Le cylindre est à enveloppe de vapeur complète. Le tiroir de distribution est cylindrique, avec admission par les arêtes intérieures. Les deux pistons, de 17 centimètres

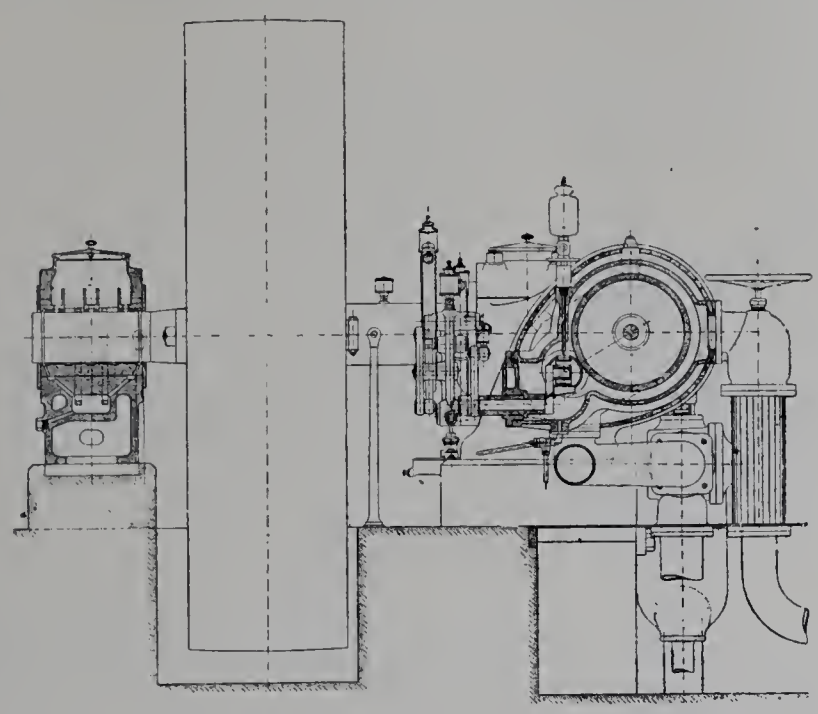


Fig. 340. — Coupe transversale.

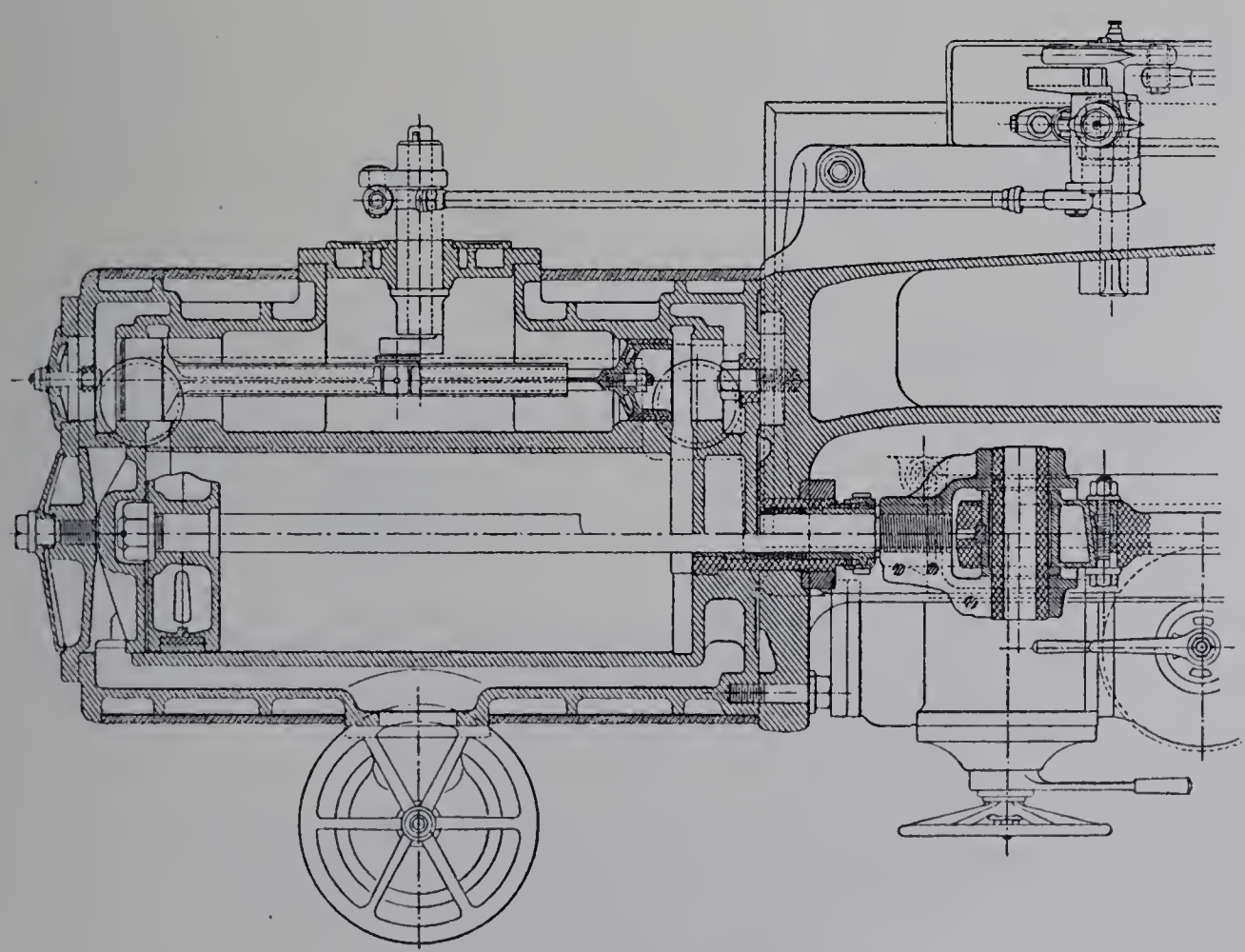


Fig. 341. — Coupe horizontale du cylindre.

de diamètre et 10 centimètres de longueur, qui le constituent, sont espacés de presque toute la longueur du cylindre, de manière à réduire au strict minimum la longueur des

IMPRIMERIE NATIONALE.

lumières. De la sorte les espaces morts n'excèdent pas 2.5 p. 100. Ce tiroir n'est pas placé latéralement à hauteur de l'axe du cylindre, mais plus bas, comme on le voit sur la coupe (fig. 340).

Les obliquités des bras de levier H G et K I du schéma (fig. 336), par rapport au bras K T qui commande immédiatement le tiroir, ont été calculées de manière à racheter l'influence de l'obliquité de la bielle motrice.

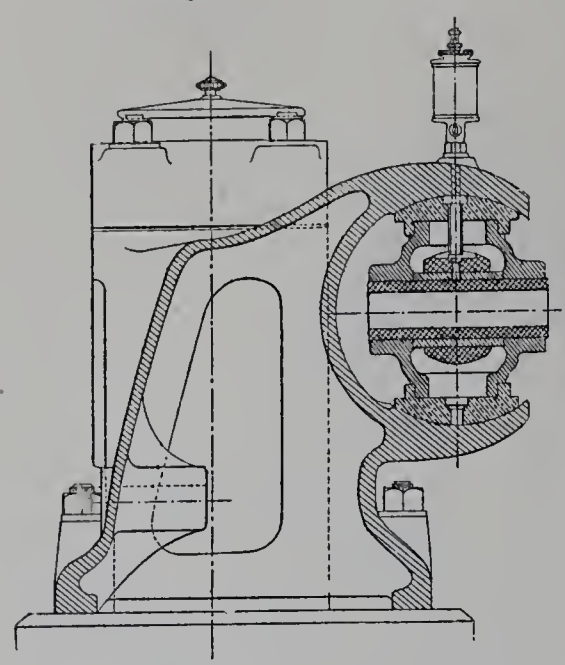


Fig. 342. — Coupe transversale de la crosse.

Sur l'arbre est montée une poulie-volant de 3 mètres de diamètre et du poids de 3,600 kilogrammes; cette pièce tournante porte en même temps le régulateur qui gouverne le calage de l'excentrique de détente. A cet effet, sur deux bras opposés du volant, sont articulées deux pièces arquées symétriques, agissant sur l'excentrique par deux biellettes opposées (fig. 343). Chacune de ces pièces arquées porte, à une petite distance de son articulation sur le bras du volant, un renflement qui forme la partie prépondérante de sa masse; la forme de la pièce est telle que, par le jeu de l'articulation, cette masse s'écarte ou se rapproche du bras du volant, en même temps que

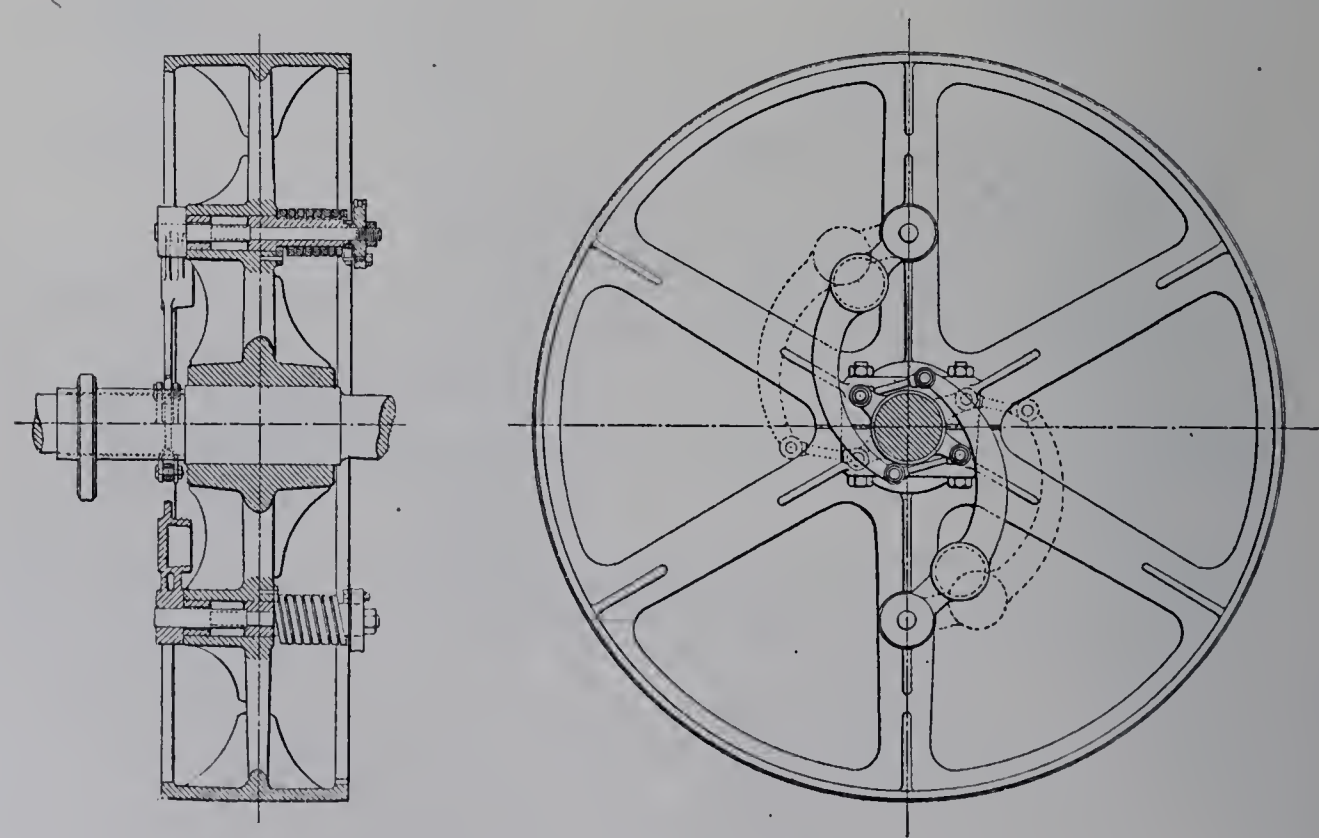


Fig. 343. — Volant-régulateur.

sa distance au centre du système tournant augmente ou diminue. Il en résulte que le régulateur est sensible à la fois à la force centrifuge et à la force d'inertie tangentielle. Pour faire équilibre à la première de ces forces, un ressort sollicite constamment la

pièce arquée vers la position pour laquelle la masse est la plus rapprochée du centre en même temps que du bras. L'action directe de ce ressort s'exerce à l'articulation même, sur le tourillon auquel la pièce arquée est fixée invariablement. Au système est adjoint un frein d'une simplicité remarquable. Le tourillon tourne dans un manchon venu de fonte avec le volant; dans ce manchon sont assujetties par des vis deux cloisons en fonte, qui séparent la capacité laissée libre en deux compartiments. Le tourillon, de son côté, est traversé par une clavette qui tourne avec lui et divise à nouveau chacun des compartiments en deux autres. Le tout est entièrement rempli de graisse consistante Toute rotation est impossible sans qu'un échange de graisse se fasse entre les compartiments : des trous sont percés dans la clavette pour permettre cet échange; leur nombre et leur section sont limités de manière à laisser au régulateur la stabilité voulue.

§ 2. Double expansion.

A. Types horizontaux. — Machines à deux cylindres en tandem. — Les machines compound à deux cylindres, lorsqu'elles sont horizontales, peuvent avoir leurs cylindres placés bout à bout en tandem, ou disposés parallèlement sur deux lignes. Dans le premier cas, la machine n'a qu'une manivelle et une bielle, comme si elle était monocylindrique; il est vrai que par cette manivelle et cette bielle passe la totalité du travail et que, si l'on répartissait la puissance entre deux manivelles, on réduirait l'équarrissage individuel des pièces; mais on les multiplierait, et avec elles les articulations et les points de graissage. La disposition en tandem réduit au minimum les liaisons nécessaires pour l'équilibre statique : un bâti à baïonnette suffit, avec un solide entretoisement des deux cylindres. Sous le rapport de l'encombrement, il est souvent plus commode d'allonger la machine, en plaçant le cylindre supplémentaire à la suite de l'autre, que d'agrandir tout le système en largeur, d'espacer les deux cylindres de toute la longueur de l'arbre ou de recourir à un vilebrequin. La distribution ne se trouve compliquée qu'au minimum, les organes de distribution des deux cylindres pouvant avoir certaines pièces de commande communes. Enfin, sous le rapport de la souplesse, les deux pistons étant montés sur une même tige, on n'a pas à se préoccuper de la proportion suivant laquelle la puissance totale se trouve répartie entre eux; on a toute liberté pour faire varier le degré d'admission au petit cylindre. Il est vrai que l'on n'a pas, comme avec deux cylindres parallèles et deux manivelles décalées de 90 degrés, l'avantage d'atténuer la variation du moment moteur dans le tour et de pouvoir, à l'aide d'un simple dépiqueur, démarrer dans toutes les positions. Mais, en ce qui touche la régularisation du moment moteur dans le tour, on en est quitte pour doter la machine d'un volant puissant, qui offre par ailleurs l'avantage de ralentir l'influence des variations du moment résistant. Quant au démarrage, ce peut être une considération importante pour certaines applications; souvent ce n'en est pas une et il suffit que la machine soit pourvue d'un vireur.

On avait autrefois cru devoir, dans la construction des machines tandem, placer le

petit cylindre en avant du grand, c'est-à-dire entre celui-ci et la bielle. Aujourd'hui la règle a changé. On met le petit cylindre derrière le grand. On les relie l'un à l'autre par une pièce d'entretoisement ajourée, de manière à réserver la place et l'accès nécessaire pour le démontage du couvercle Æ du grand cylindre. La disposition est plus satisfaisante sous le rapport des proportions de l'ensemble et de la répartition des masses. Le piston le plus lourd se trouve tout naturellement supporté de part et d'autre, la tige commune traversant le grand cylindre; on a soin de disposer sous cette tige un bon coussinet de soutien dans l'intervalle séparatif des deux cylindres et, cela fait, l'on peut généralement se dispenser de mettre une contre-tige au petit piston. Enfin, dans ce système de groupement, le condenseur peut être placé à la fois dans le voisinage immédiat du grand cylindre, avec lequel il doit être en communication aussi directe que possible, et dans celui de la crosse sur laquelle est pris le mouvement de la pompe à air.

Distributions à soupapes. — Dès que nous quittons le type monocylindrique, nous voyons apparaître, au nombre des grandes machines les plus remarquablement construites de l'Exposition, des types où la distribution est faite au moyen de soupapes. Ces organes, qui ne se prêtent pas à une réduction des espaces morts comparable à celle que permettent les tiroirs Corliss, et auxquels il est logique, par conséquent, d'associer la multiple expansion, conservent le plus souvent la disposition générale que la maison Sulzer a, depuis de longues années, rendue classique. Ainsi que nous l'avons indiqué (p. 240), ce sont des soupapes à double siège, presque rigoureusement équilibrées et dont, pour la minime action résiduelle de la différence des pressions, le sens d'ouverture est celui d'un autoclave. Sièges et soupapes doivent être, non seulement ajustés avec la plus parfaite précision, mais encore formés rigoureusement du même métal, afin que les dilatations soient identiques et que l'étanchéité des deux portages se conserve à toute température. Ces organes ont besoin d'être établis par des constructeurs émérites; cette condition remplie, ils sont essentiellement d'emploi durable et de commande facile, n'ayant qu'à battre doucement sur leurs sièges sans aucun frottement avec une levée réduite grâce à la double ouverture.

Quelques constructeurs de premier ordre ont poussé le raffinement jusqu'à constituer des soupapes, non plus à deux, mais à quatre sièges, ce qui permet de réduire de moitié encore la levée à périphérie égale ou, à levée égale, de diminuer le diamètre de l'organe de distribution.

Machine Sulzer de 750 chevaux. — Nous trouvons ces dispositions générales, jointes à un mécanisme de distribution aussi ingénieux que précis et à un soin de construction des plus remarquables, dans la machine tandem de 750 chevaux exposée par MM. Sulzer frères (fig. 344 à 347). Cette machine porte sur son arbre, comme volant très efficace, la partie tournante (inducteur mobile extérieur) d'un alternateur de la maison J.-J. Rieter, susceptible de donner 700 kilovolts-ampères avec un facteur

de puissance de 0,8; le diamètre extérieur de cet inducteur atteint $5^m 8$, ce qui donne, la vitesse angulaire étant de 100 tours par minute, une vitesse circonférentielle de 30 mètres par seconde.

Les dimensions du moteur sont :

$$D_1 = 0^m 525 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.1$$
$$D_2 = 0\ 875 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.77$$
$$L = 1\ 10 \qquad$$
$$N = 100 \qquad \frac{2\,LN}{60} = 3^m 65.$$

La puissance normale de 750 chevaux indiqués suppose, avec de la vapeur à 11 kilogrammes par centimètre carré, une admission de 23 p. 100 au petit cylindre. Une admission de 40 p. 100 porte la puissance indiquée à 1000 chevaux.

La distribution a été spécialement étudiée en vue de la souplesse du fonctionnement. L'admission au petit cylindre, gouvernée par le régulateur Porter, peut varier de zéro au maximum sans que le fonctionnement de la distribution cesse d'être satisfaisant. MM. Sulzer ont voulu que, même aux admissions les plus réduites, la précision du jeu des soupapes ne laissât rien à désirer.

La distribution est tout entière commandée, comme d'habitude, au moyen d'un arbre tournant latéral, disposé parallèlement à l'axe des cylindres et prenant son mouvement sur l'arbre de la machine par un engrenage d'angle.

Au droit de chacune des paires de soupapes du cylindre à haute pression (fig. 345), un excentrique calé sur cet arbre imprime un mouvement alternatif, autour d'un axe d'oscillation fixe, à un court levier coudé formant balancier de commande, à la fois pour l'échappement et pour l'admission.

Pour l'échappement, une bielle attelée à ce balancier et dirigée vers le bas actionne directement le levier roulant auquel est reliée la soupape inférieure. Quand le balancier est à fin d'oscillation vers la droite, ce levier se trouve relevé au-dessus de sa table de roulement. Le balancier commençant à s'incliner vers la gauche et la bielle à s'abaisser, le levier roulant est d'abord amené au contact de sa table : à cet instant le point de contact est tout voisin de la tige de la soupape et celle-ci se trouve doucement soulevée. Mais, à mesure que le levier modifie son inclinaison, son centre instantané de rotation se déplace le long de la table de roulement et le rapport des bras du levier subit une variation très rapide, de sorte que la levée de la soupape s'accélère considérablement durant les instants qui suivent son départ. Mais, bientôt, le ralentissement de la bielle, résultant de la loi du mouvement de son articulation supérieure, vient compenser l'effet du roulement du levier et maintenir la soupape sensiblement immobile. Les effets inverses se produisent pour la fermeture : la soupape sort de cette quasi immobilité par une accélération qui, vers la fin du mouvement, fait place à une accélération de signe contraire résultant de ce que le centre instantané de rotation du levier roulant redevient voisin de la tige, de telle sorte que, ramenée vivement vers son siège, la soupape y est dou-

cement posée. Elle reste ensuite fermée durant le temps que le levier roulant s'écarte de la table et y revient.

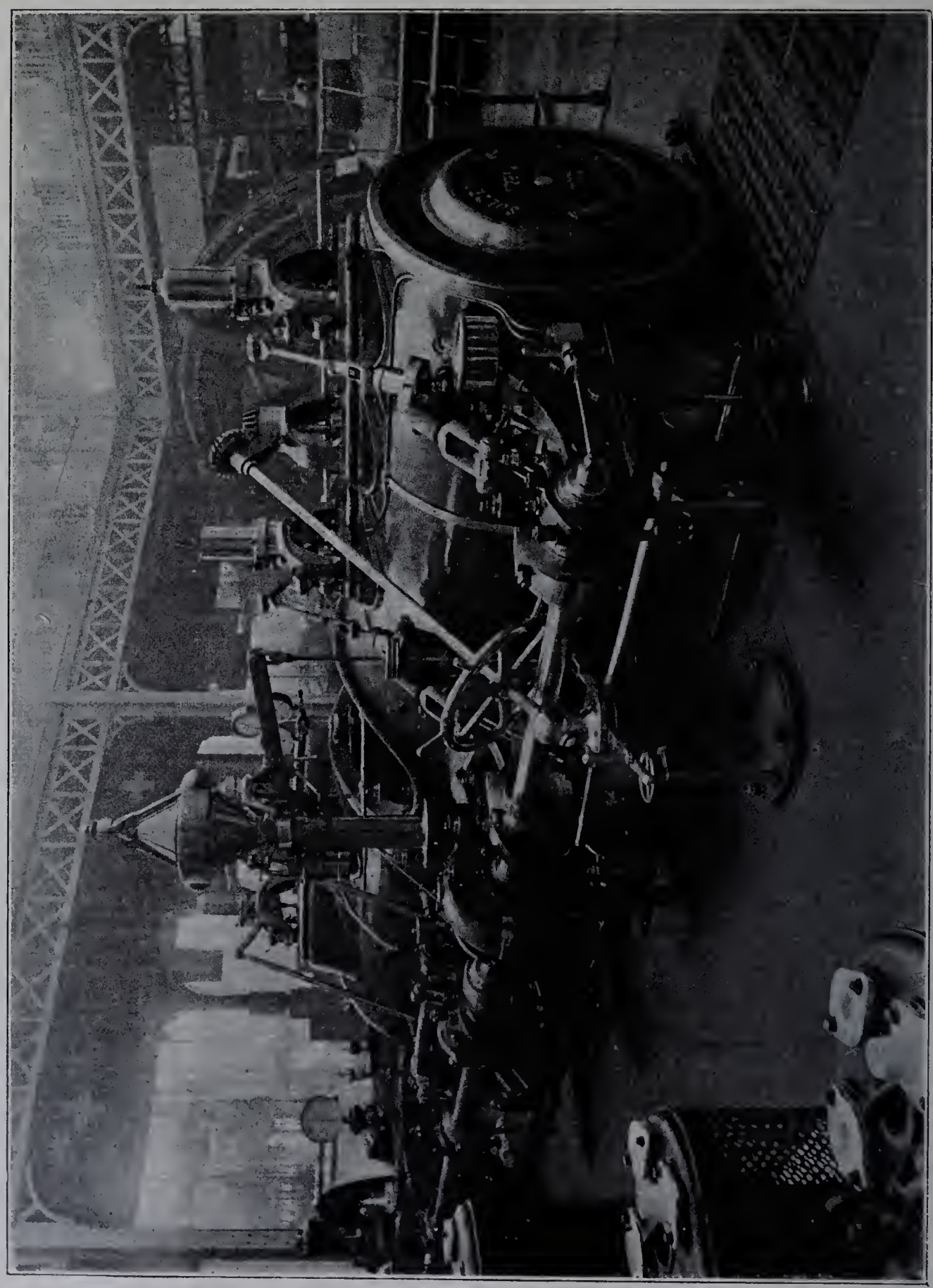


Fig. 344. — Machine compound de 750 chevaux de MM. Sulzer frères.

Pour l'admission, abstraction faite du dispositif de déclenchement, la commande diffère de la précédente en ce qu'elle comporte une pièce oscillante intermédiaire. La bielle qui actionne, par son extrémité supérieure, le levier roulant de la soupape n'est

pas articulée, à son extrémité inférieure, directement sur le balancier de commande, mais sur l'extrémité d'un levier formé de deux flasques et mobile autour d'un axe d'oscillation auxiliaire. En un point intermédiaire entre l'axe et l'extrémité, les deux flasques sont entretoisées par un bloc constituant la touche menée (fig. 346). La touche menante est portée en potence à l'extrémité d'un bras oscillant autour du même axe

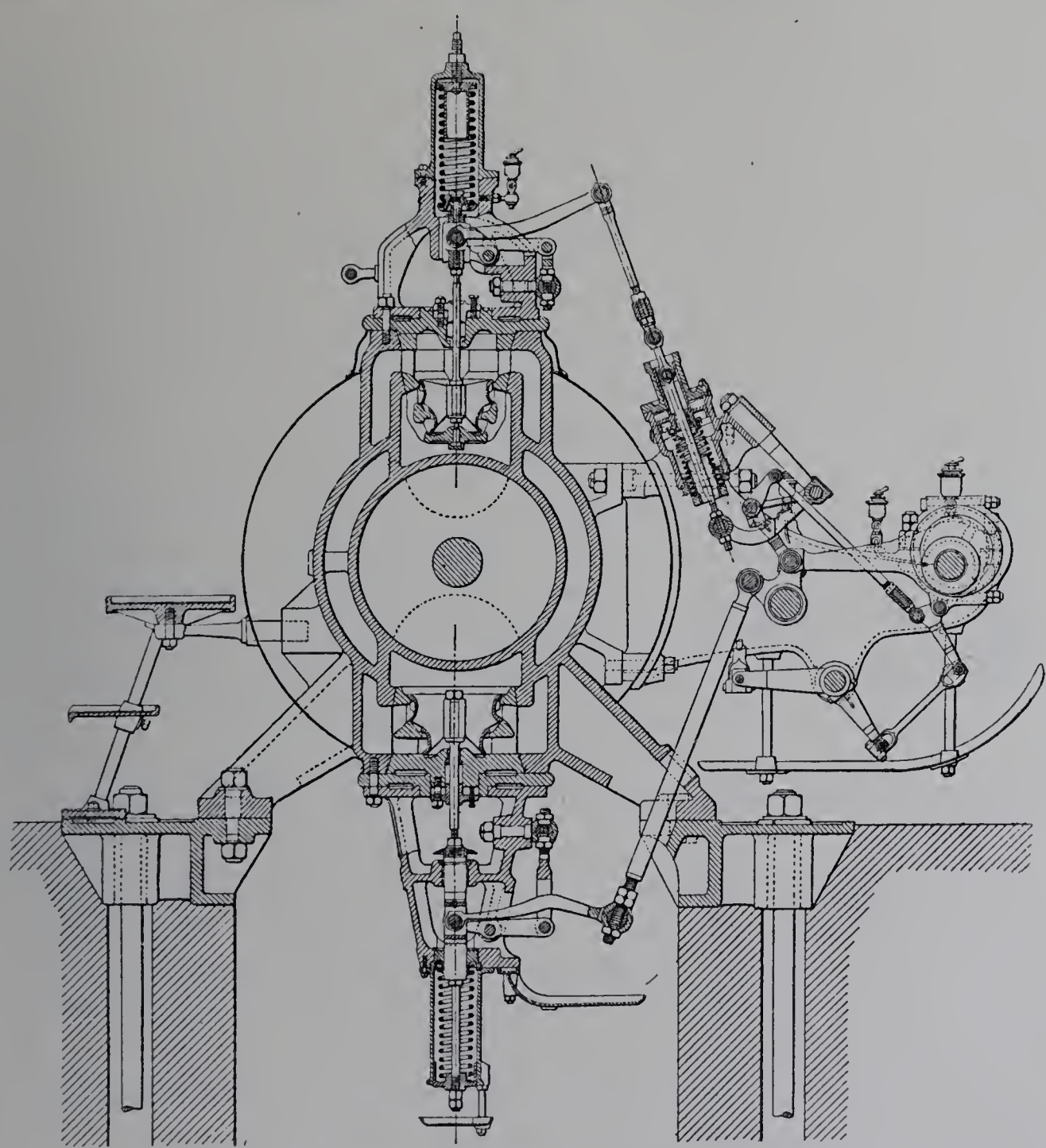


Fig. 345. — Coupe du petit cylindre.

auxiliaire, jouant entre les deux flasques et recevant son mouvement d'une courte bielle qui le relie au balancier principal. Cette bielle est disposée de manière que le bras porteur de la touche menante demeure pendant quelques instants à peu près immobile lorsqu'il est relevé au maximum, la bielle étant alors à peu près dirigée vers l'axe du balancier principal.

Le levier à deux flasques, porteur de la touche menée, et le bras compris entre ces

deux flasques, lequel porte la touche menante, étant articulés sur le même axe, touche menante et touche menée s'accompagneraient sans glisser l'une sur l'autre, si la touche menée était fixée sur l'extrémité du bras par une potence invariablement liée à celui-ci. Mais c'est une potence articulée. Cette potence forme la tête d'un levier coudé et la queue de ce levier, conduite par une bielle spéciale, est animée d'un mouvement dont la loi dépend, comme nous allons le voir, de l'action du régulateur.

Il faudrait, pour que la touche menante n'eût aucun glissement par rapport à la touche menée, que le mouvement imprimé à la queue du levier coudé fut exactement le même, en ce qui touche les angles de rotation autour de l'axe d'oscillation auxiliaire, que celui du bras sur lequel la potence est articulée. Si cette condition n'est pas remplie, la touche menante prend un mouvement composé : au cours du mouvement alternatif autour de l'axe d'oscillation intermédiaire, l'angle de la potence avec le bras qui la porte se modifie périodiquement, d'où glissement des deux touches l'une sur l'autre et, si la loi du mouvement composé est convenable, déclenchement à point nommé.

Voici comment est régi le mouvement de la queue de la potence. En un point du collier de l'excentrique calé sur l'arbre général de distribution est pris un mouvement orbiculaire de forme invariable. D'autre part, un mouvement de va-et-vient suivant un arc d'assez grand rayon est pris au moyen d'une biellette sur un point fixe, dont la position dépend du régulateur à force centrifuge. Une pièce à trois sommets, formant un triangle dont un des angles est très aigu, a l'un des sommets de son plus petit côté articulé sur le collier d'excentrique et animé par conséquent du mouvement orbiculaire, tandis que le sommet de son angle aigu est articulé à l'extrémité de la biellette et se trouve astreint par conséquent à un va-et-vient légèrement courbe. Le troisième sommet est celui qui conduit la bielle allant à la queue de la potence : sa trajectoire est une courbe allongée, dont la forme et l'orientation varient suivant la position du point fixe de la biellette, c'est-à-dire au gré du régulateur, qui n'a ni grande réaction à subir pour tenir ce point fixe, ni grande résistance à vaincre pour le déplacer.

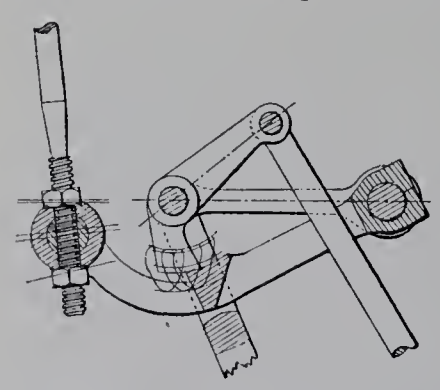


Fig. 346. — Détail de la commande de chacune des soupapes d'admission du petit cylindre.

Il reste à expliquer le jeu du mécanisme de rappel. La pièce oscillante à deux flasques est reliée par une bielle, avons-nous dit, au levier roulant de la soupape d'admission. En réalité, cette bielle se compose de deux tronçons, articulés l'un et l'autre, en leur point de jonction, sur un coulisseau guidé rectilignement. Ce coulisseau fait partie de la tête du piston d'un *dash-pot*. Un ressort à boudin, que ce piston comprime quand il s'abaisse, tend continuellement à repousser vers le haut la bielle articulée. Lorsque, la soupape étant ouverte, le déclenchement se produit, l'ensemble formé par la soupape et sa tige, le levier roulant, la bielle articulée, enfin la pièce oscillante à deux flasques, se trouve vivement rappelé sous la double action du ressort à boudin du *dash-pot* et de celui qui charge la soupape elle-même. Mais, à cause de la propriété du levier roulant,

la soupape, en approchant de son siège, ralentit sa descente et s'y pose doucement. A cet instant, l'attirail formé par la bielle articulée, avec le levier roulant à un bout et la pièce à deux flasques à l'autre, est encore animé d'un mouvement vif; ce mouvement se poursuit, mais il est devenu sans effet sur la soupape et n'a plus d'autre résultat que d'écarter le levier roulant de sa table. Il ne tarde pas à être progressivement éteint par le *dash-pot*, qui a ainsi pour rôle d'absorber l'énergie cinétique de l'attirail après la fermeture de la soupape et n'intervient pas dans la loi de cette fermeture. Lorsque, ensuite, la touche menante étant revenue en prise, ce même attirail sera emmené vers le bas par le mécanisme de distribution, le ressort à boudin du *dash-pot* commencera à se tendre et le *dash-pot* à prendre de l'air avant que la soupape commence à se lever : de la sorte, si courte que soit l'admission, le déclenchement trouvera toujours le mécanisme armé pour un retour rapide de l'attirail et de la soupape. C'est à tel point que lorsqu'on arrive au degré d'admission nul, la soupape demeure immobile sur son siège alors que l'attirail exécute encore de petits mouvements de va-et-vient, avec fonctionnement du déclic, rappel par le ressort et extinction par le *dash-pot*.

Tout le mécanisme que nous venons de décrire est très solidement assis sur des chaises normales aux cylindres et fortement boulonnées sur des oreilles venues de fonte avec eux. Ces chaises portent, dans des positions invariables, l'arbre général de la distribution, l'axe d'oscillation des balanciers principaux et, pour le petit cylindre, l'arbre de relevage des points fixes placés sous la dépendance du régulateur, enfin les *dash-pots*. Chacun des axes d'oscillation auxiliaires, dont la position a besoin de pouvoir être réglée, est porté au voisinage du *dash-pot* correspondant par une forte fourche fixée dans un manchon solidaire du même ensemble. Toutes les bielles sont pourvues d'un réglage de longueur. Les tables de roulement des leviers de soupapes ont un réglage de pente qui permet d'amener exactement à hauteur voulue l'extrémité voisine de la tige de la soupape.

Au grand cylindre (fig. 347), le mécanisme de distribution est combiné suivant des principes analogues, mais sans déclic ni intervention du régulateur. L'arrangement cinématique est le suivant : à chacune des extrémités du cylindre, au droit des deux soupapes à faire mouvoir, un excentrique est claveté sur l'arbre de commande général de la distribution; son collier n'a qu'une courte barre, dont l'extrémité est guidée en arc de cercle au moyen d'une liaison par biellette avec un axe fixe. Sur cet excentrique sont pris les deux mouvements, celui de l'échappement et celui de l'admission. Pour l'échappement, l'extrémité supérieure de la bielle allant au levier roulant est guidée suivant une trajectoire réglable et attelée par une liaison intermédiaire au collier de l'excentrique. Pour l'admission, un balancier tourillonné sur un axe auxiliaire fixe reçoit son mouvement d'une biellette attachée à une oreille du collier d'excentrique et le transmet inversé, et légèrement amplifié, à la bielle de commande allant au levier roulant. La loi du mouvement ainsi réalisé est telle que la soupape reste dans le voisinage de son soulèvement maximum pendant la plus grande partie de l'admission et redescend ensuite promptement vers son siège, en ne produisant que peu d'étranglement.

COMITÉ FRANÇAIS
DES INSTITUTS À L'ÉTRANGER
N° 1292
BIBLIOTHÈQUE

Les soupapes étant à quatre sièges, tout le mécanisme que nous venons de décrire n'a à produire que des levées restreintes; le maximum de la levée des soupapes d'admission du petit cylindre atteindrait 20 millimètres à 60 p. 100 d'admission. La machine ne tourne qu'à 100 tours, mais la distribution a été étudiée pour 125 tours à la minute.

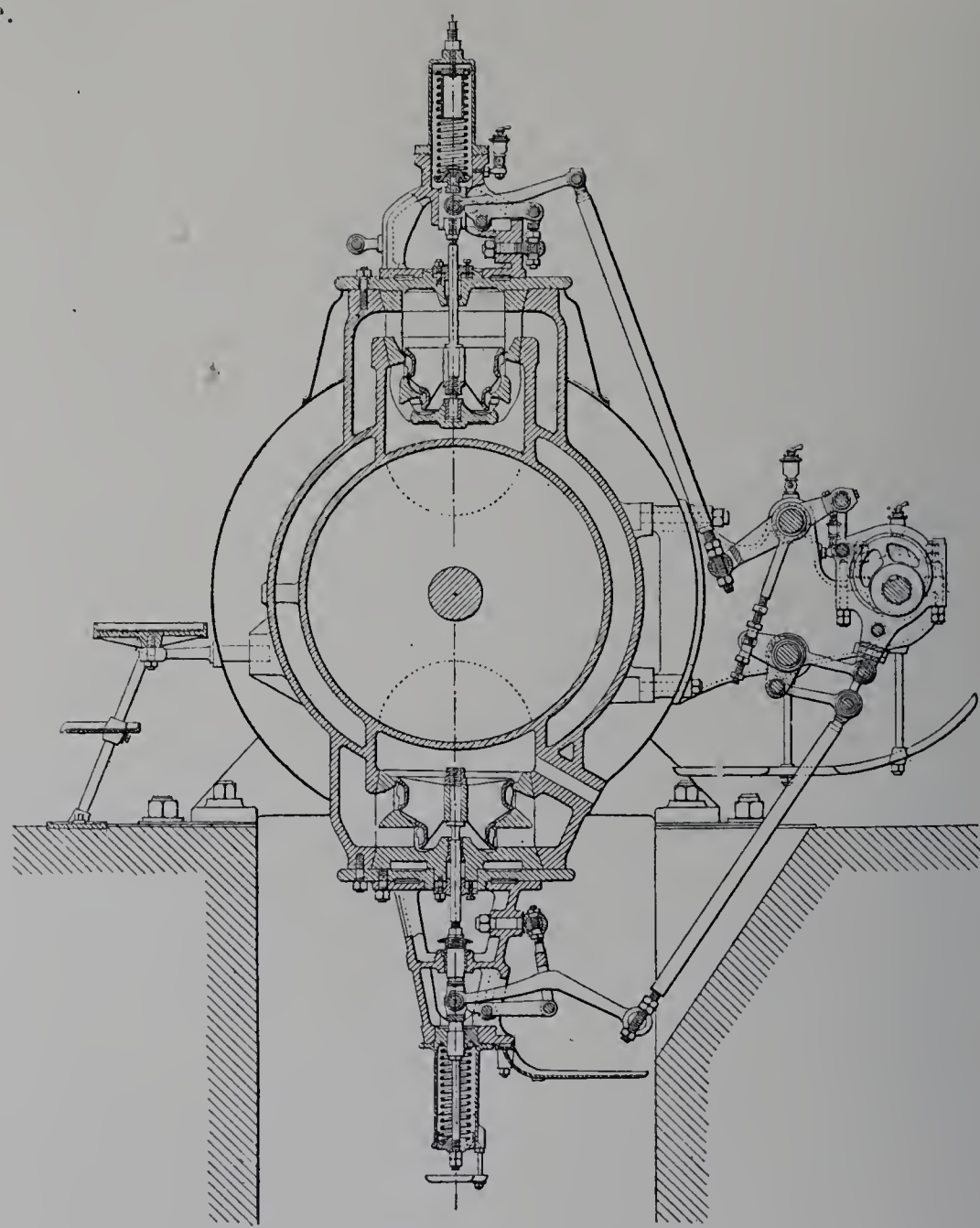


Fig. 347. — Coupe du grand cylindre.

Cette distribution dont les mouvements, abstraction faite du déclic, sont exclusivement pris sur des excentriques circulaires et guidés par des articulations et des plans de roulement, comporte, comme on le voit, un nombre élevé de pièces et d'axes. MM. Sulzer ont su en faire un chef-d'œuvre de précision. Les pièces sont en acier forgé ou en fer forgé et cémenté; les tourillons et les surfaces de frottement sont trempées; le fini de l'exécution et l'exactitude du réglage assurent aux oscillations une douceur et une netteté parfaite.

Machine Carels de 1,000 chevaux. — Dans le moteur de 1,000 chevaux, à deux

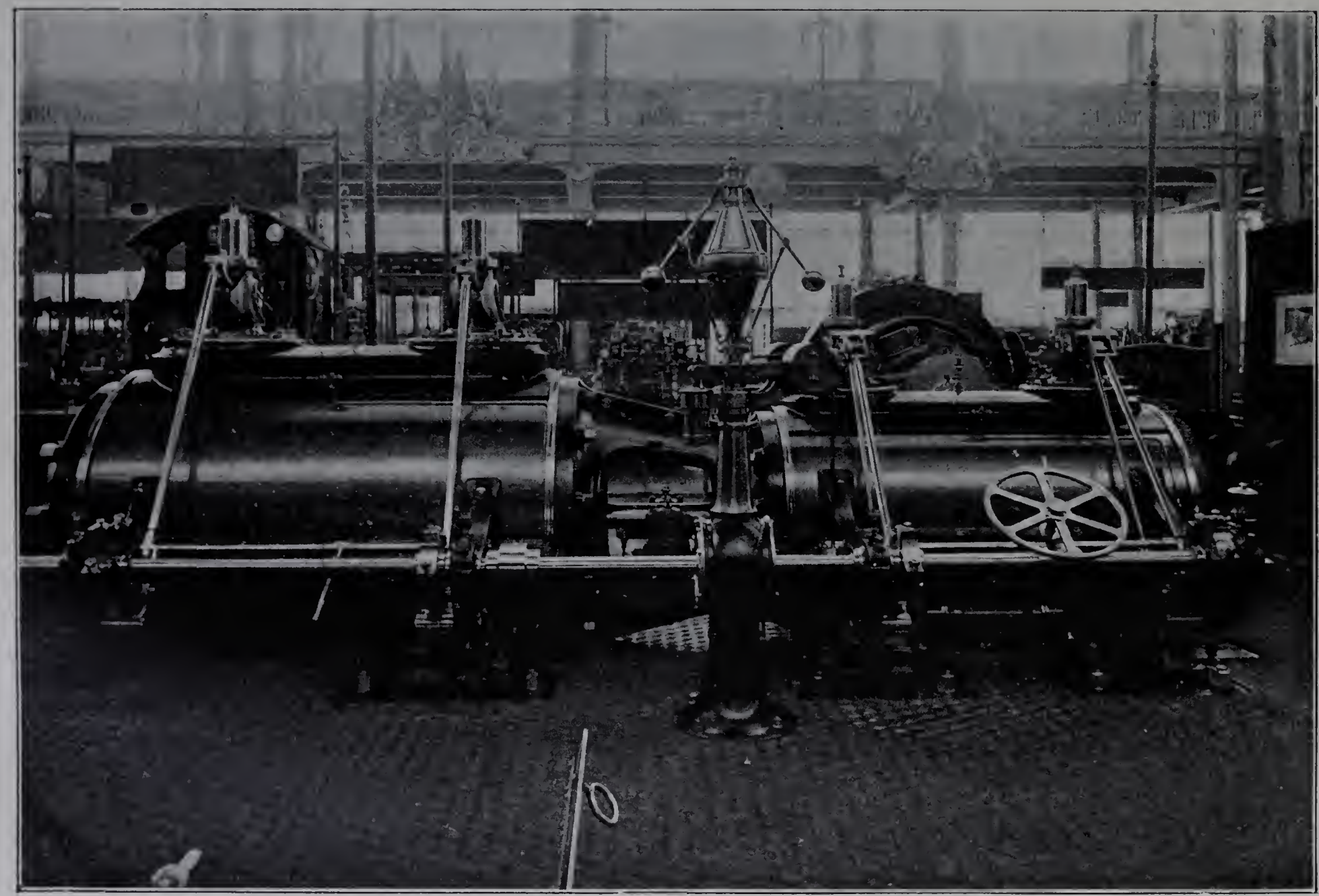


Fig. 348. — Machine de 1,000 chevaux, de MM. Carels frères. — Vue du côté de l'arbre de distribution.

cylindres en tandem, présenté par MM. Carels frères, de Gand (fig. 348 à 353), des dispositions d'une parfaite simplicité se trouvent unies à un choix de matières et à une précision d'exécution qui ne laissent rien à désirer. La machine a été étudiée en vue

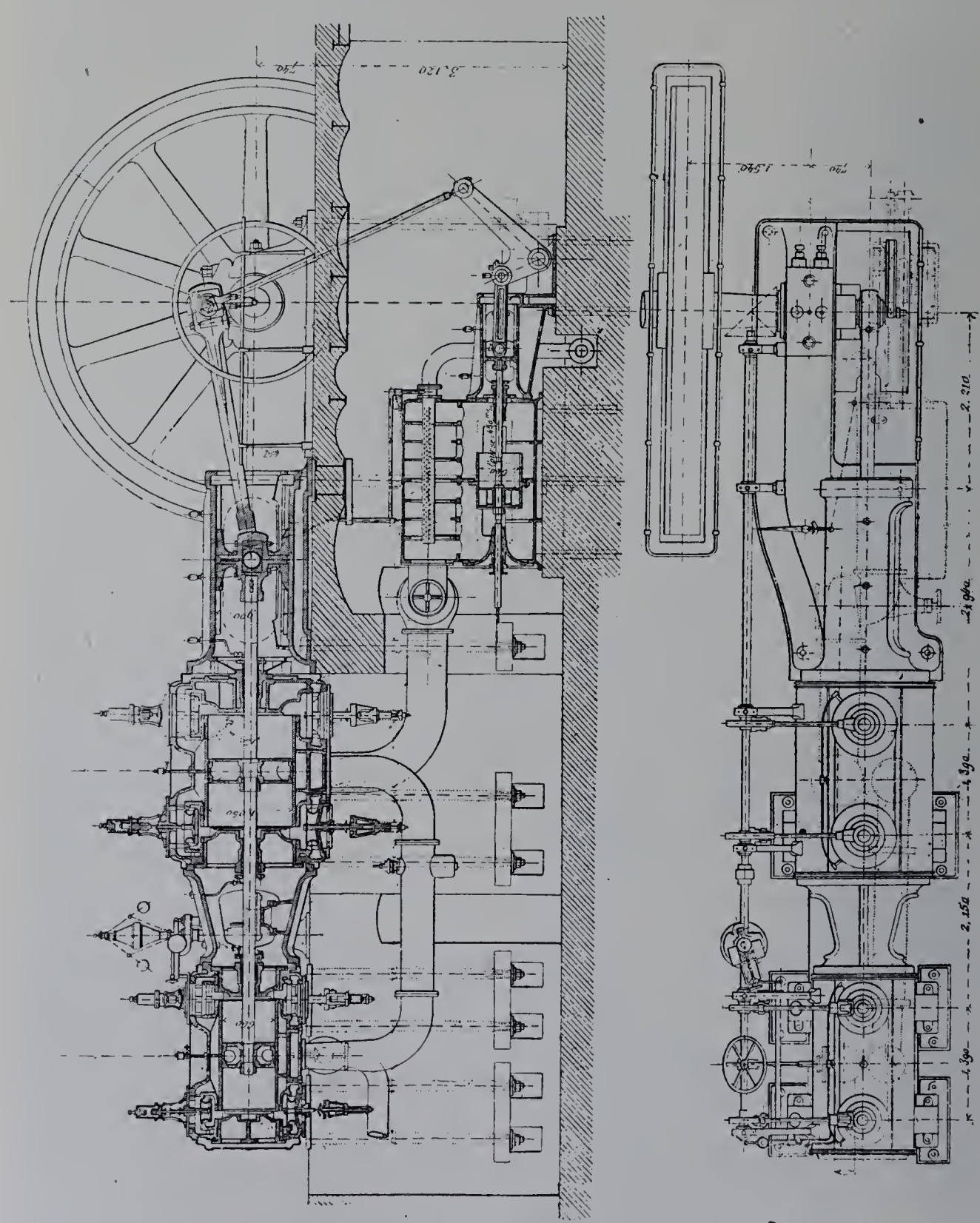


Fig. 349. — Machine Carels. — Plan et coupe longitudinale.

de fournir, à vitesse constante, une puissance largement variable. Elle a pour volant l'inducteur d'un alternateur à courants triphasés construit par l'ancienne maison Kolben, de Prague, et destiné à un service combiné de distribution de force motrice, de traction et d'éclairage. Cet alternateur fournit 780 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0.85.

Le type de la machine est établi pour 100 tours par minute; mais, la fréquence des courants devant être de 50 périodes par seconde et l'inducteur ayant 64 pôles, le fonctionnement n'a pu avoir lieu qu'à une vitesse angulaire voisine de 94 tours. Les chiffres caractéristiques sont :

$$D_1 = 0^m66 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.7$$
$$D_2 = 1\ 05 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.5$$
$$L = 1\ 15 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m6$$
$$N = 93,8$$

Avec de la vapeur à la pression de 10 kilogrammes par centimètre carré, la puissance indiquée est de 1,000 chevaux pour une admission de 19 p. 100 au premier cylindre, ce qui correspond à une expansion totale de 13. L'admission normale au grand cylindre est de 30 p. 100.

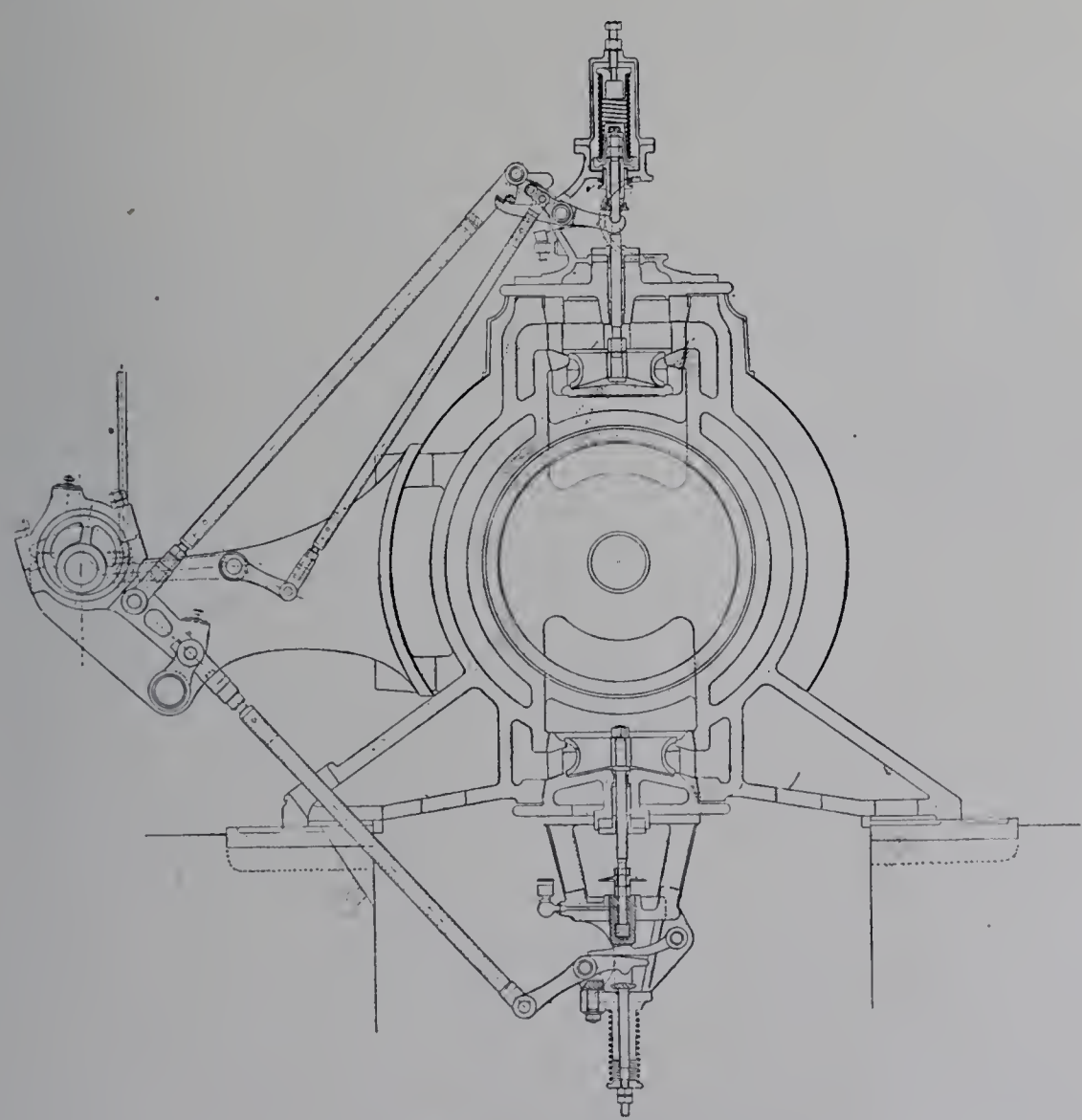


Fig. 350. — Coupe du petit cylindre.

La machine est établie sur de robustes assises, avec le centre de gravité placé aussi bas que possible. Le bâti à baïonnette guide la crosse entre des glissières cylindriques. Les cylindres sont supportés par des plaques de fonte sur lesquelles ils peuvent coulisser.

La lanterne qui les relie est aisément démontable, étant formée de deux moitiés boulonnées ensemble suivant le méridien vertical. Les paliers, munis de quatre coussinets réglables, sont à graissage continu au moyen de chaînettes roulantes et disposés de manière qu'on puisse, en outre, faire circuler de l'eau autour d'eux.

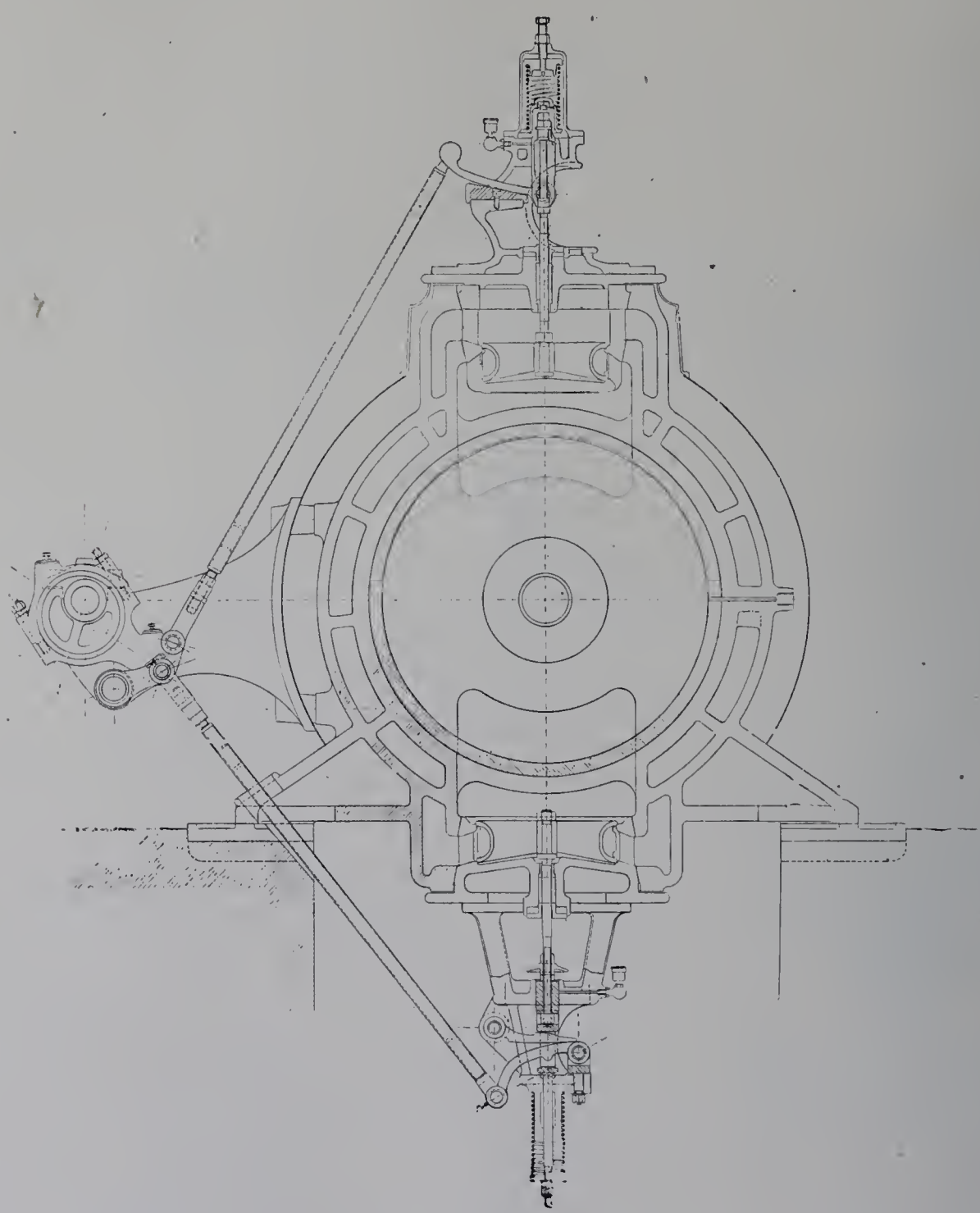


Fig. 351. — Coupe du grand cylindre.

La tige commune aux deux pistons, guidée en tête par les patins de la crosse, est soutenue dans l'intervalle des deux cylindres par une glissière demi-cylindrique d'assez grande longueur, garnie de métal antifriction et articulée sur deux tourillons de manière à assurer la parfaite régularité du portage. Cette glissière, placée au centre de la lanterne, est constamment accessible. Grâce à cette disposition, les pistons sont flottants et les presse-étoupe déchargés.

Les cylindres sont à chemise intérieure rapportée et à enveloppe de vapeur sur leur pourtour. MM. Carels préfèrent ne pas chauffer les fonds, estimant que cette partie des enveloppes risque de n'être pas toujours bien purgée de son eau de condensation.

Les pistons sont à double toile et cerclés de deux bagues. Dans les parois planes des fonds de cylindres s'ouvrent les communications avec les chapelles des soupapes. Celles-ci sont à double siège, suivant le type Sulzer ordinaire, et de diamètre suffisamment grand pour l'aisance de la distribution ; dans ces conditions, l'espace mort est d'environ 6.5 p. 100 : la proportion est la même pour l'un et l'autre cylindre. On a eu soin de régler en conséquence la valeur de la compression.

Le mécanisme de la distribution est fort simple. Il est commandé pour toute la machine par quatre excentriques, un par paire de soupapes, montés sur l'arbre longitudinal qui constitue la pièce maîtresse de toutes les distributions du genre Sulzer. Cet arbre prend son mouvement sur l'arbre moteur, au moyen d'un engrenage d'angle taillé avec une précision qui en rend le fonctionnement totalement silencieux.

Chacun des excentriques porte un collier à courte barre ; l'extrémité de cette barre est guidée en arc de cercle au moyen d'une liaison par biellette avec un axe fixe. C'est sur cette extrémité de la courte barre d'excentrique, animée d'un va-et-vient légèrement courbe, qu'est pris le mouvement de l'extrémité supérieure de la bielle qui va commander la soupape d'échappement. L'action de cette bielle sur cette soupape s'exerce par un dispositif dont les propriétés sont analogues à celles d'un levier roulant, bien que l'arrangement soit quelque peu différent. Il y a deux pièces oscillantes en contact, l'une menante, l'autre menée, tourillonnées chacune sur un point fixe et dont le point de contact se modifie au cours du mouvement. A cet effet, la première de ces pièces présente une surface supérieure légèrement courbe, formant table d'appui pour la seconde ; sous l'action de la bielle de commande, cette table s'élève et s'abaisse par un mouvement de bascule ; la pièce menée suit le mouvement ; mais au cours de ces deux oscillations concomitantes, le point où la pièce menée repose sur la table se déplace le long de celle-ci, s'éloignant de l'axe d'oscillation de la pièce menante et y revenant. Quand le contact se fait sur l'axe d'oscillation, l'action de la pièce menante est nulle : c'est le temps pendant lequel la soupape reste immobile sur son siège, après s'y être posée sans choc.

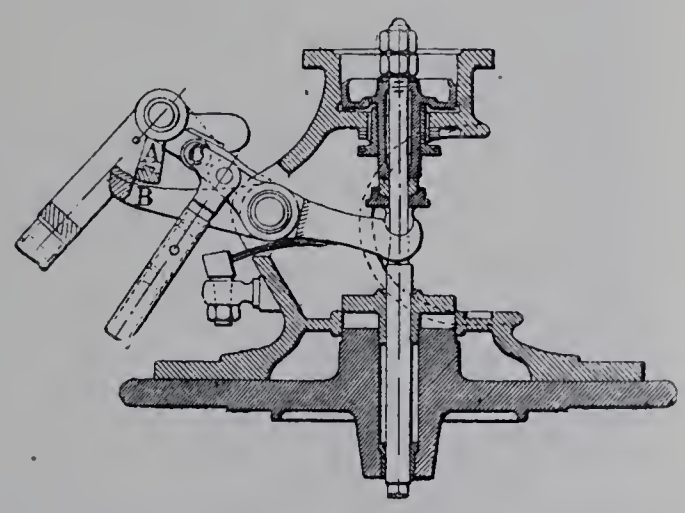


Fig. 352. — Détail du mécanisme de déclenchement.

L'admission au petit cylindre comporte un mécanisme à déclic dont les fig. 350 et 352 font comprendre l'arrangement : B est la touche menée, que la touche menante portée par la pièce A abandonne plus ou moins tôt suivant la position donnée à C par la tringle liée au régulateur. L'admission peut varier de zéro à 75 p. 100. Le rappel de la faible

masse déclenchée a lieu sous l'action du ressort qui charge directement la soupape; le mouvement s'éteint sur le matelas d'air d'un *dash-pot* à piston sans garniture, simple-

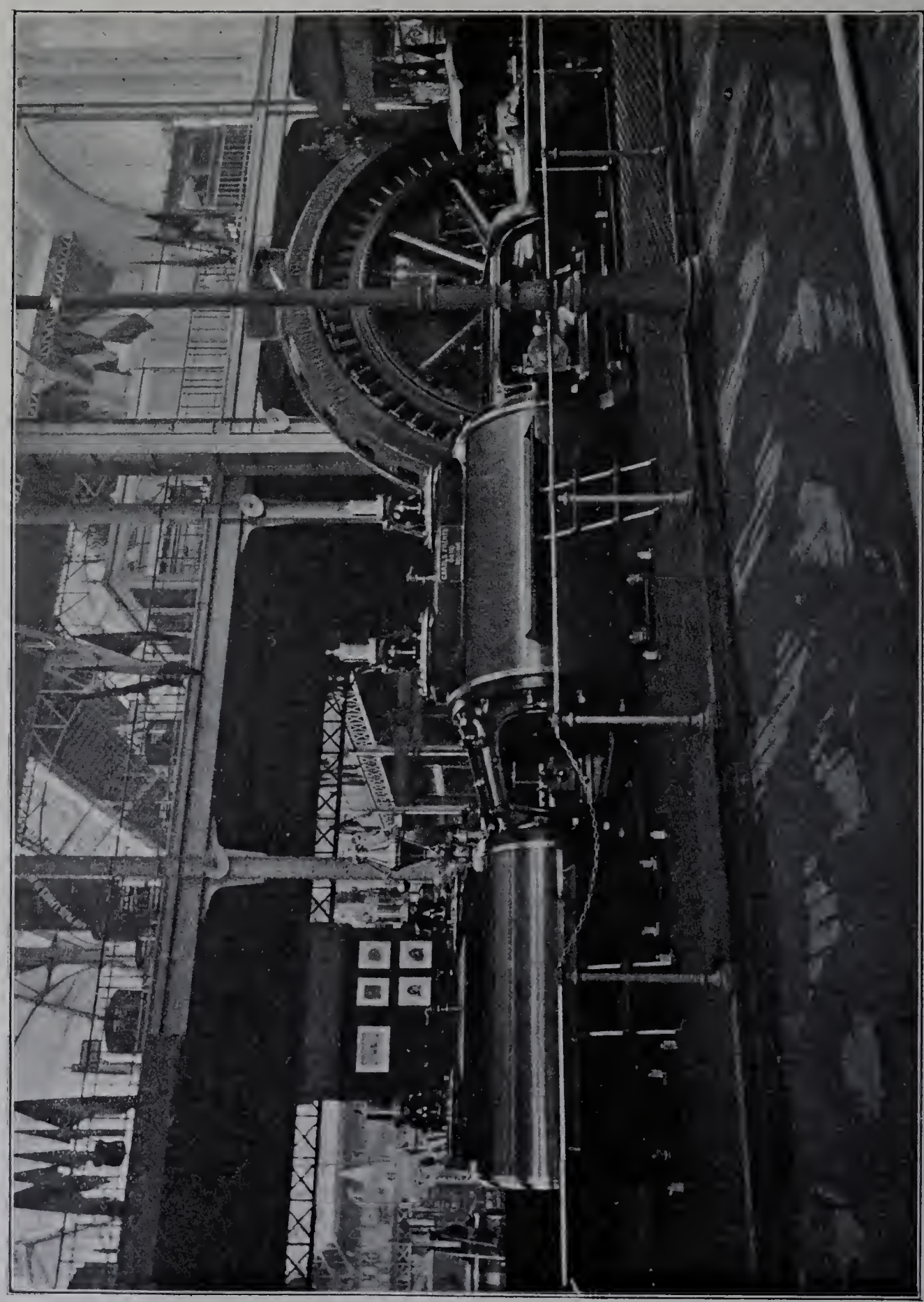


Fig. 353. — Machine de 1,000 chevaux de MM. Carels frères. — Vue du côté de la manivelle motrice.

ment rainuré. Quant aux soupapes d'admission du grand cylindre, elles sont commandées sans déclic, chacune au moyen d'un levier roulant.

MM. Carels emploient, pour leurs cylindres de machines, des fontes de 2e fusion qu'ils fabriquent eux-mêmes et qui offrent des résistances de 33 kilogrammes par millimètre à la traction et de 125 à la compression. Les emmanchements sont faits au moyen d'une puissante presse hydraulique. Les axes de la distribution sont munis de bagues d'acier ajustées au centième de millimètre. Toutes les dimensions sont vérifiées au moyen de calibres, avec une précision qui rend les pièces du même modèle absolument interchangeables. On a, en présence du Jury, permuté deux soupapes et la machine a pu être remise en service sans autre préparation.

Machine de la maison Biétrix. — Dans la section française figure une machine tandem,

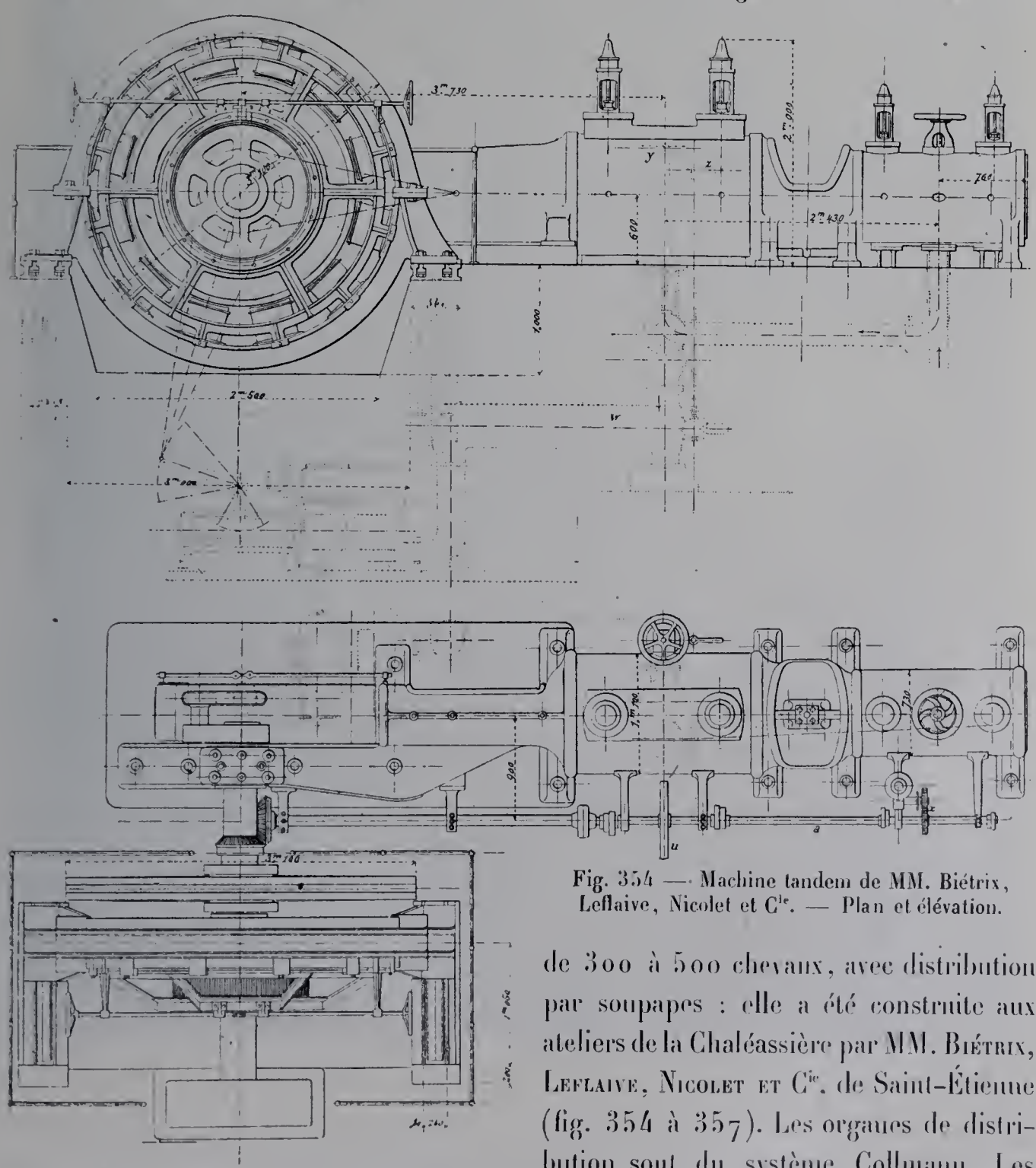


Fig. 354 — Machine tandem de MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie. — Plan et élévation.

de 300 à 500 chevaux, avec distribution par soupapes : elle a été construite aux ateliers de la Chaléassière par MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie, de Saint-Étienne (fig. 354 à 357). Les organes de distribution sont du système Collmann. Les dispositions générales ont été choisies, comme le mode de distribution, en vue de l'emploi de la vapeur surchauffée.

IMPRIMERIE NATIONALE.

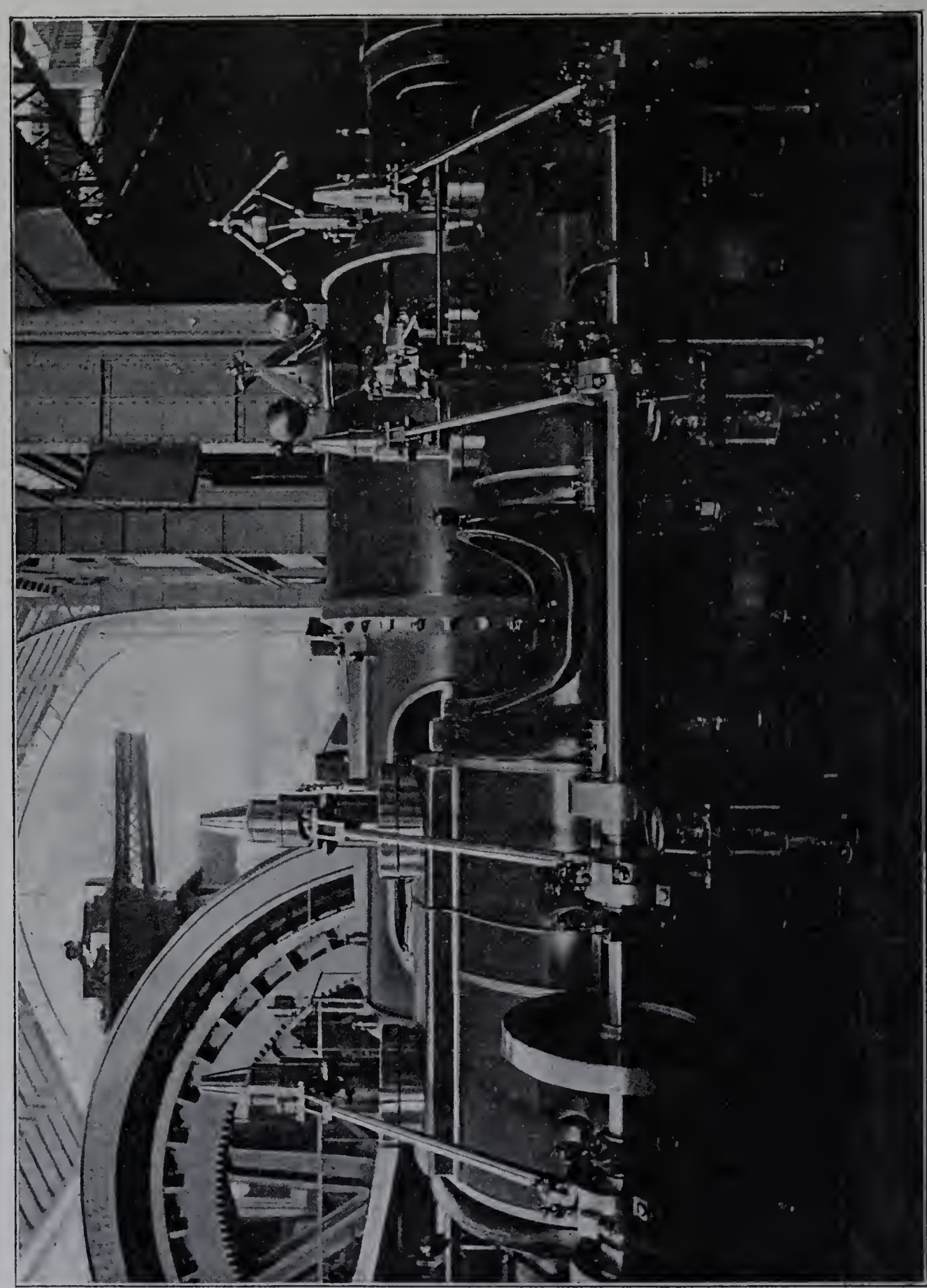


Fig. 355. — Machine tandem de la maison Biétrix. — Vue des cylindres et de la distribution. (On aperçoit derrière cette machine l'une de celles de MM. Dujardin et Cie.)

Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 375 \qquad \frac{L}{D_1} = 2$$

$$D_2 = 0\ 600 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$

$$L = 0\ 750$$

$$N = 120 \text{ à } 130 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m \text{ à } 3^m 25.$$

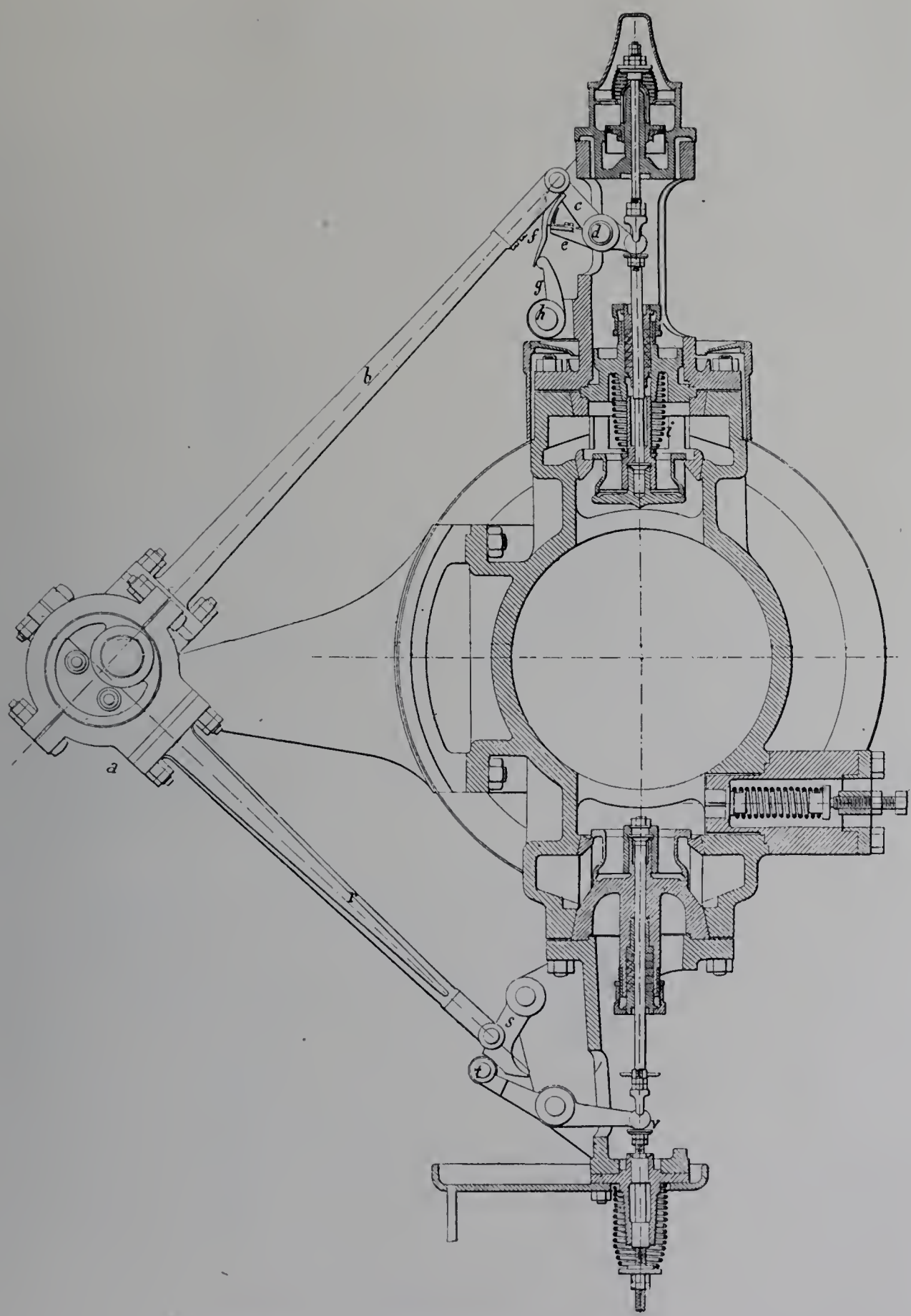


Fig. 356. — Coupe transversale du petit cylindre.

Toutefois, à l'Exposition, la vitesse angulaire n'est que de 110 tours par minute, pour faire tourner l'induit d'une dynamo Labour à courant continu construite par la Société «l'Éclairage électrique» et fournissant 870 ampères sous 230 volts (200 kilowatts).

Le petit cylindre étant destiné à recevoir de la vapeur à 300 ou 350 degrés n'a pas d'enveloppe de vapeur, tandis que le grand est chemisé d'une enveloppe complète, fonds et pourtour.

L'arbre longitudinal de la distribution, armé d'un volant suffisant pour que les réactions du mécanisme de distribution soient sans répercussion sur l'engrenage d'angle, porte huit excentriques juxtaposés deux à deux : les soupapes d'admission et celles d'échappement sont ainsi à commandes indépendantes.

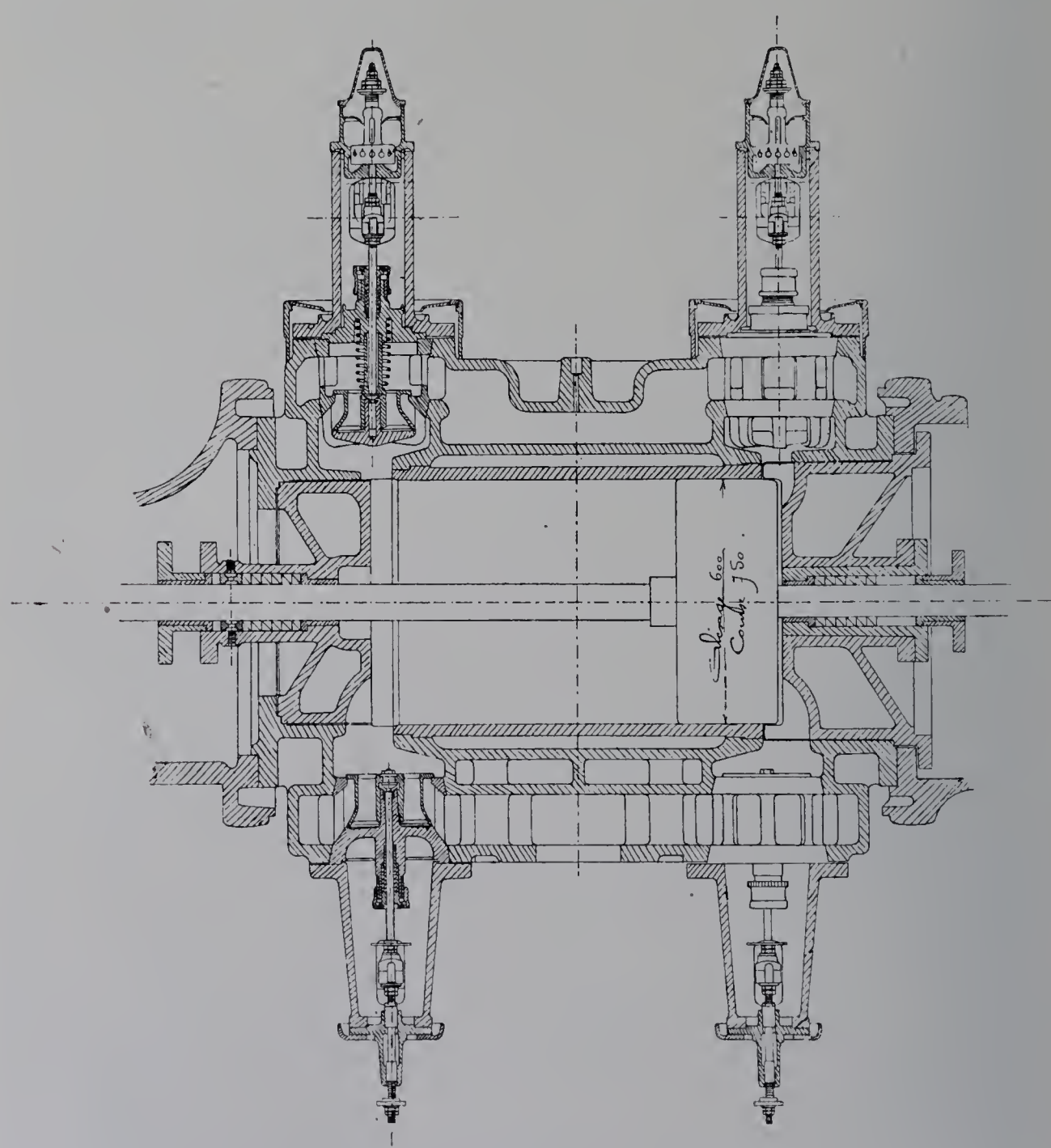


Fig. 357. — Coupe longitudinale du grand cylindre.

Les soupapes d'admission sont à déclic sur les deux cylindres. Les dispositifs de rappel et de freinage coiffent directement chaque soupape, réduisant au minimum la masse libérée. Le rappel est produit par un ressort à boudin. Le ralentissement en fin de course est obtenu par le frein à huile caractéristique du système Collmann. Le déclic est obtenu d'une manière très simple, l'excentrique étant calé de manière que la bielle

de commande *b* (fig. 356) prolonge le mouvement ascendant de la soupape tant que l'admission doit durer. Il suffit donc, pour libérer le levier *e* qui soulève l'organe de distribution, de l'intervention d'une butée *g* écartant à point nommé une languette d'enclenchement *f* articulée sur l'extrémité supérieure de la bielle. Au petit cylindre, la position de la butée est sous la dépendance du régulateur à force centrifuge; au grand, elle est réglable à la main.

Pour les soupapes d'échappement, la commande a lieu par l'intermédiaire d'une came *s* articulée sur un axe fixe, à laquelle la bielle d'excentrique *r* imprime un mouvement d'oscillation et qui agit sur un galet *t* porté par le levier de la soupape. Le profil de cette came assure une ouverture et une fermeture rapides.

Anciens ateliers van den Kerchove. — Analogue aux précédentes par ses dispositions générales, la machine compound tandem exposée par les Anciens ateliers de construction van den Kerchove, de Gand (fig. 358 à 363), en diffère complètement quant à la forme des obturateurs. Ce ne sont pas des soupapes, mais des tiroirs cylindriques, auxquels la maison van den Kerchove donne le nom de *pistons-valves*. Nous avons déjà indiqué (fig. 229) la forme de ces organes de distribution; chacun d'eux, animé d'un va-et-vient vertical, masque et démasque alternativement une lumière circulaire ou, plus exactement, une série de fenêtres dont l'ensemble équivaut à une lumière circulaire, tandis que les parties pleines séparant les fenêtres maintiennent et guident la garniture du tiroir. Ces distributeurs sont logés dans les fonds; autour de la couronne de fenêtres de chacun est un canal circulaire en communication directe avec le cylindre; le centre, c'est-à-dire l'intérieur du tiroir cylindrique, est en relation, soit avec l'enveloppe de vapeur si c'est un obturateur d'admission, soit, si c'est un obturateur d'échappement, avec la décharge au condenseur.

L'ouverture est obtenue en soulevant la tige du tiroir, absolument comme s'il s'agissait d'une soupape; seulement, à la différence de celle-ci, le tiroir peut dépasser, vers le bas, la position de fermeture, en prenant un certain recouvrement. Il en résulte que le mouvement descendant peut rester vif jusqu'à la fermeture complète et que la force vive de la masse en mouvement peut être éteinte ensuite progressivement et indépendamment de toute influence sur la distribution.

La communication par canal circulaire entre les chapelles et le cylindre ne correspond qu'à une capacité fort restreinte; les espaces morts ne sont que d'environ 2 p. 100.

La machine a pour dimensions :

$$D_1 = 0^m 63 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.9$$
$$D_2 = 1\ 09 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.97$$
$$L = 1\ 20$$
$$N = 83 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 22.$$

Elle fait tourner l'inducteur-volant d'un alternateur de la Compagnie internationale d'électricité de Liège (Établissements H. Pieper), donnant 1,000 kilovolts-ampères

avec un facteur de puissance de 0.85 au minimum. La vitesse angulaire de 83 tours par minute, ou plus exactement 83.3, est commandée par le nombre de pôles de l'alter-

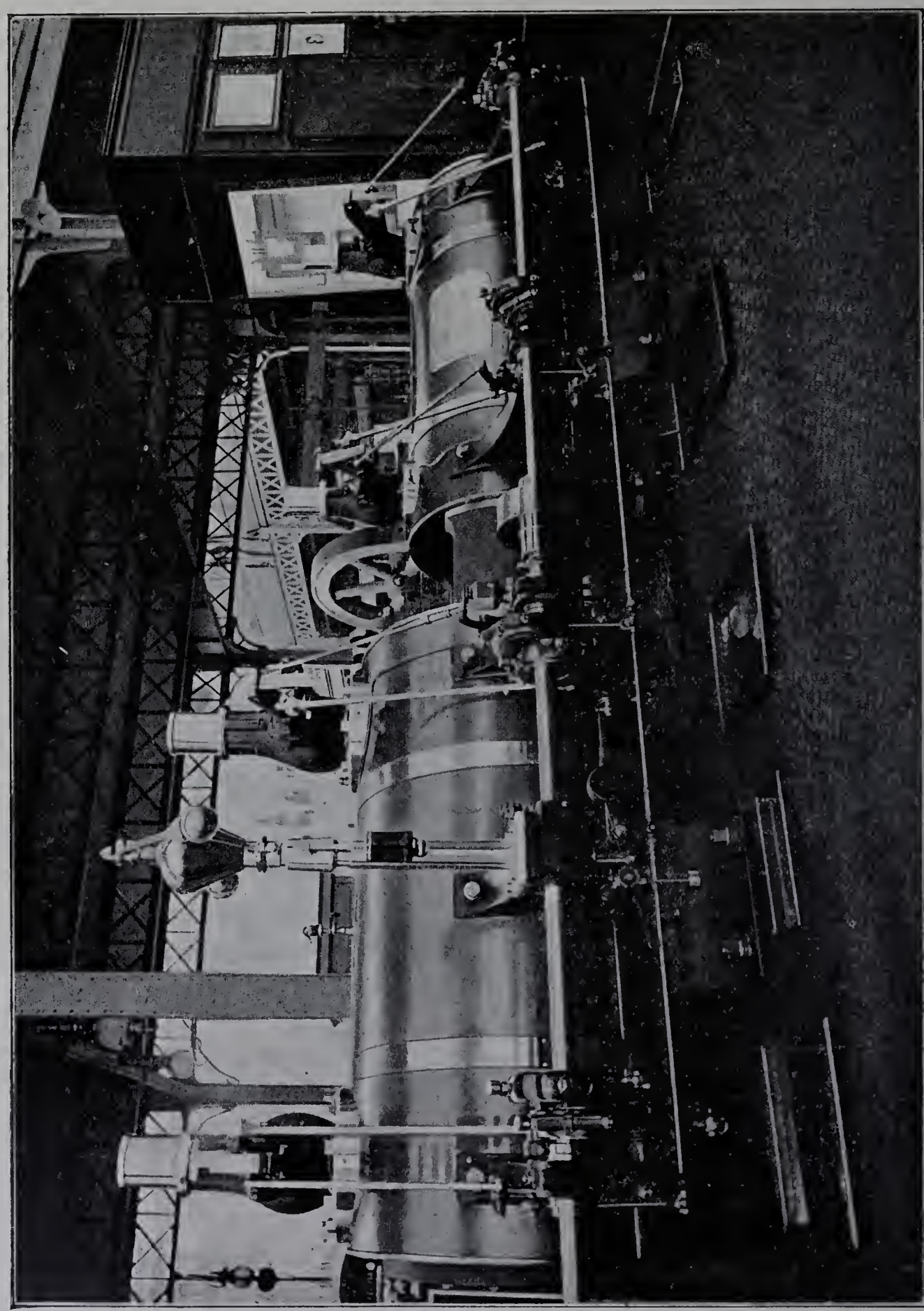


Fig. 358. — Machine tandem de MM. van den Kerchove. — Vue du côté de l'arbre de distribution.

nateur; par elle-même, la machine est constituée en vue d'une vitesse de 100 tours. Le mécanisme de la distribution (fig. 360 à 363) comprend quatre excentriques par

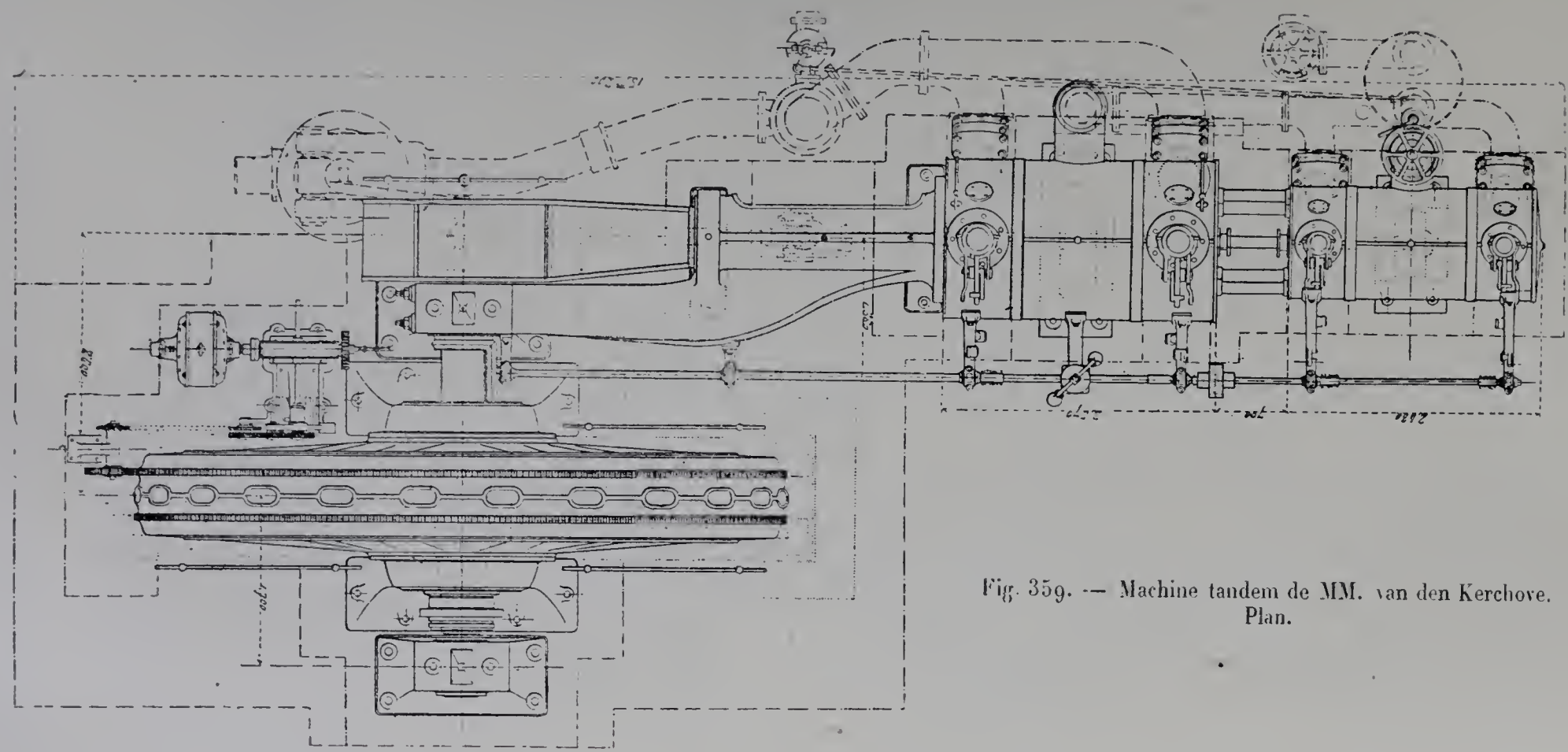


Fig. 359. — Machine tandem de MM. van den Kerchove.
Plan.

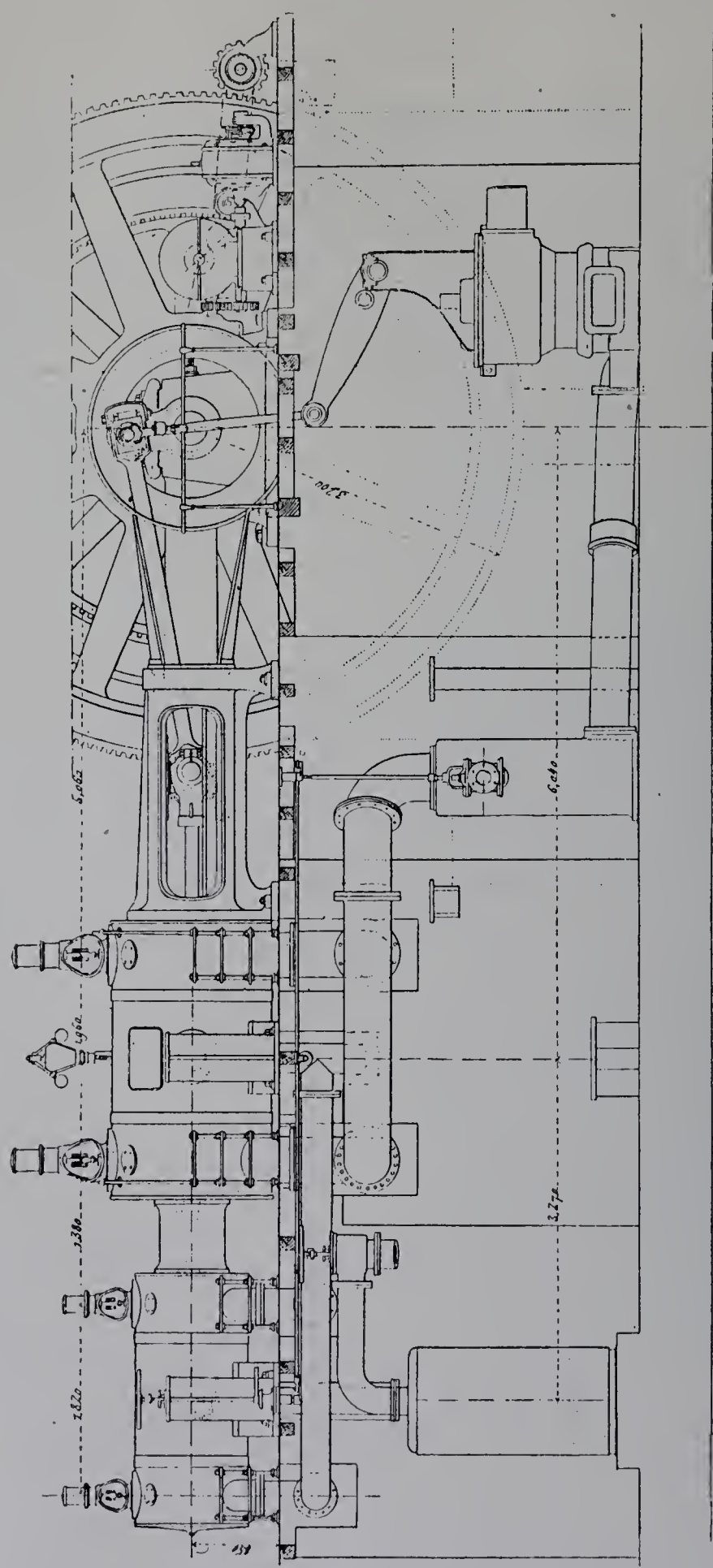


Fig. 360. — Elévation du côté de la manivelle motrice.

cylindre, chaque tiroir étant à commande séparée. La commande des obturateurs d'admission est à déclic aux deux cylindres; l'enclenchement se fait par une palette articulée *h* (fig. 361), portée par la pièce menante *g*, et qui se trouve, à point nommé,

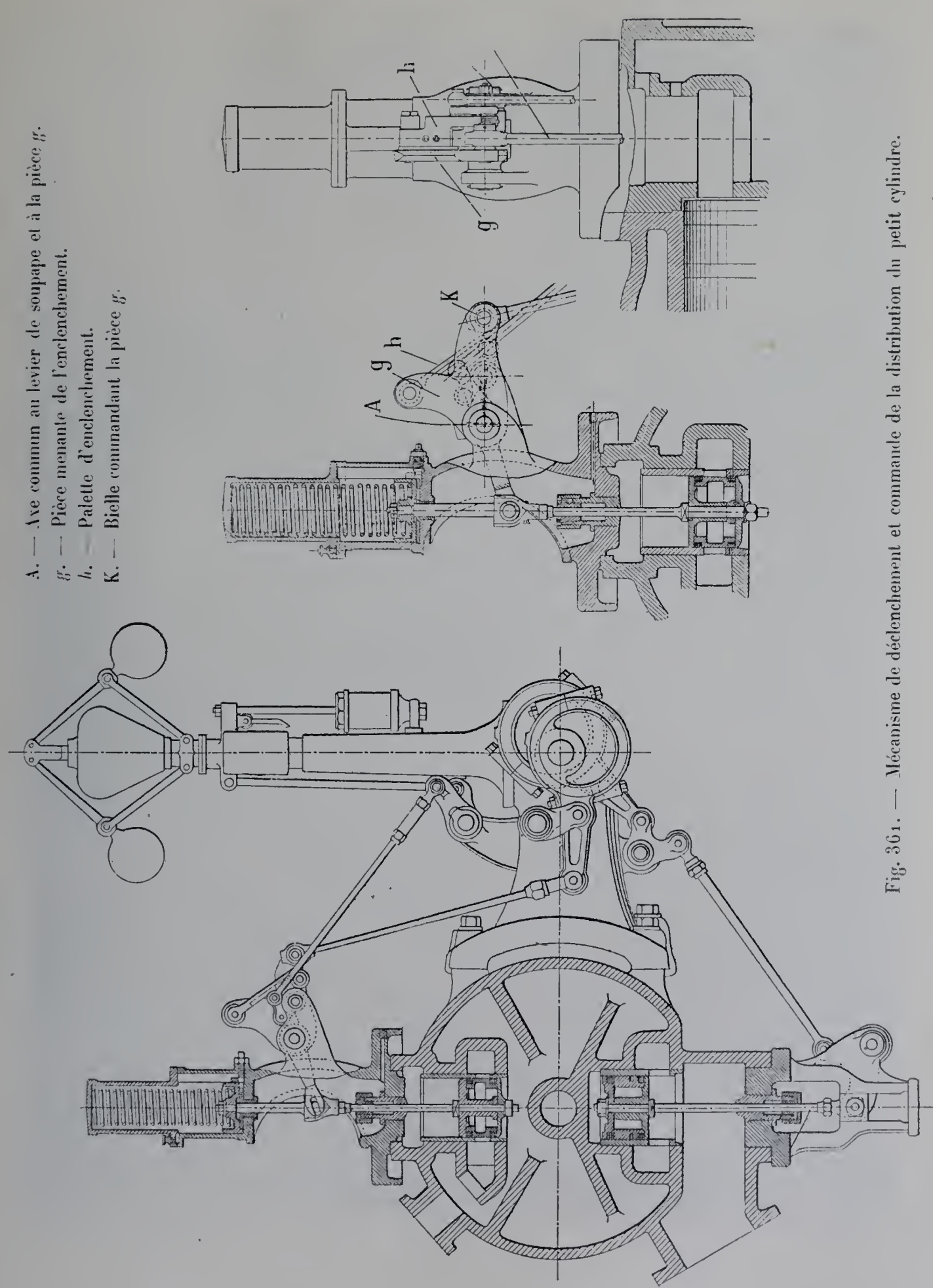


Fig. 361. — Mécanisme de déclenchement et commande de la distribution du petit cylindre.

écartée de sa position normale par la rencontre d'un galet fixe dont la position dépend du régulateur. L'admission peut varier, suivant la position de celui-ci, de zéro à 60 p. 100.

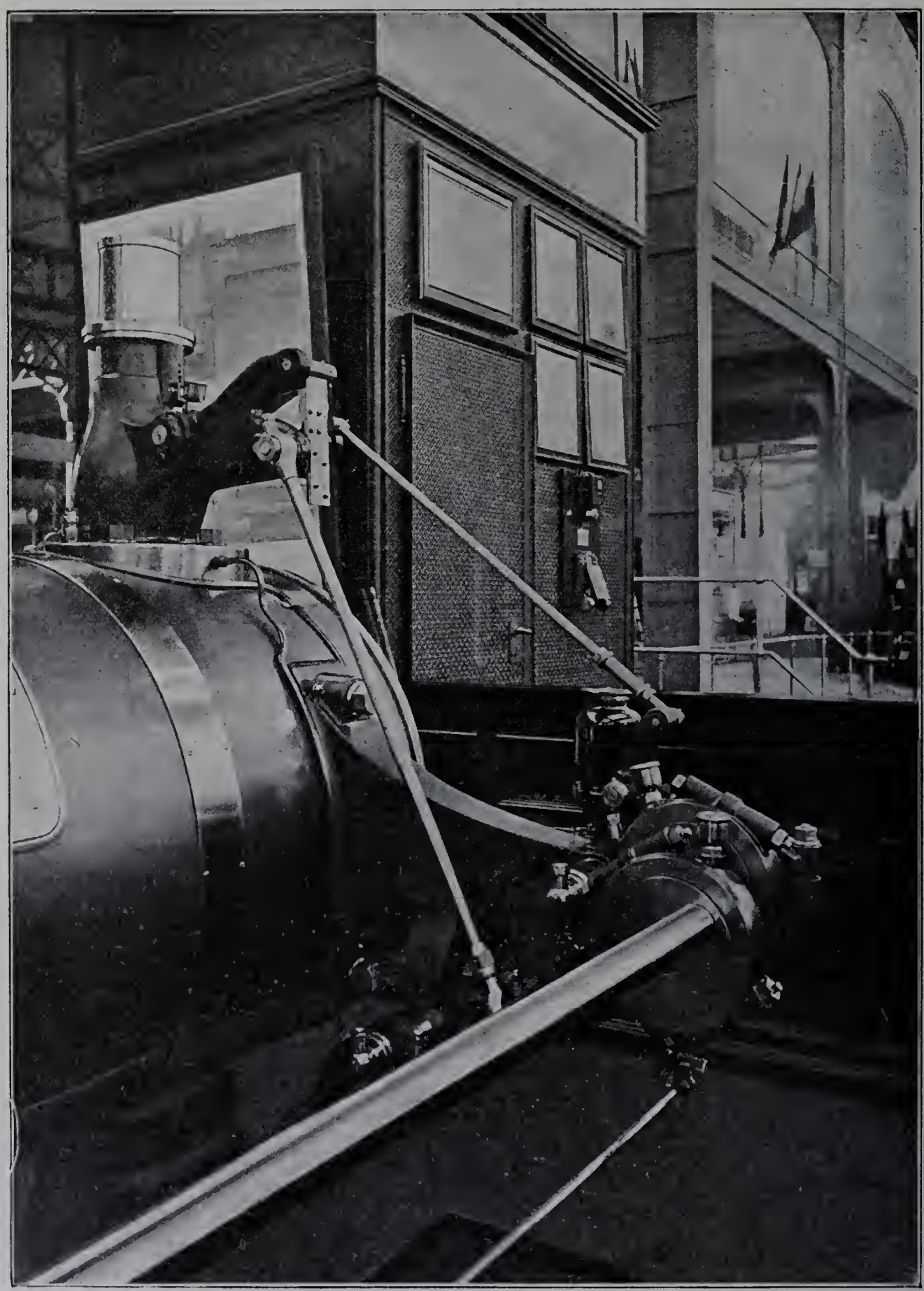


Fig. 362. — Machine tandem de MM. van den Kerchove. — Extremité Æ du petit cylindre, vue du côté de l'arbre de distribution.

Pour l'un comme pour l'autre cylindre, bien qu'il s'agisse d'une machine tandem dont les pistons additionnent leurs actions sur une même tige, le déclenchement est placé sous la dépendance du régulateur à force centrifuge; celui-ci est installé à côté

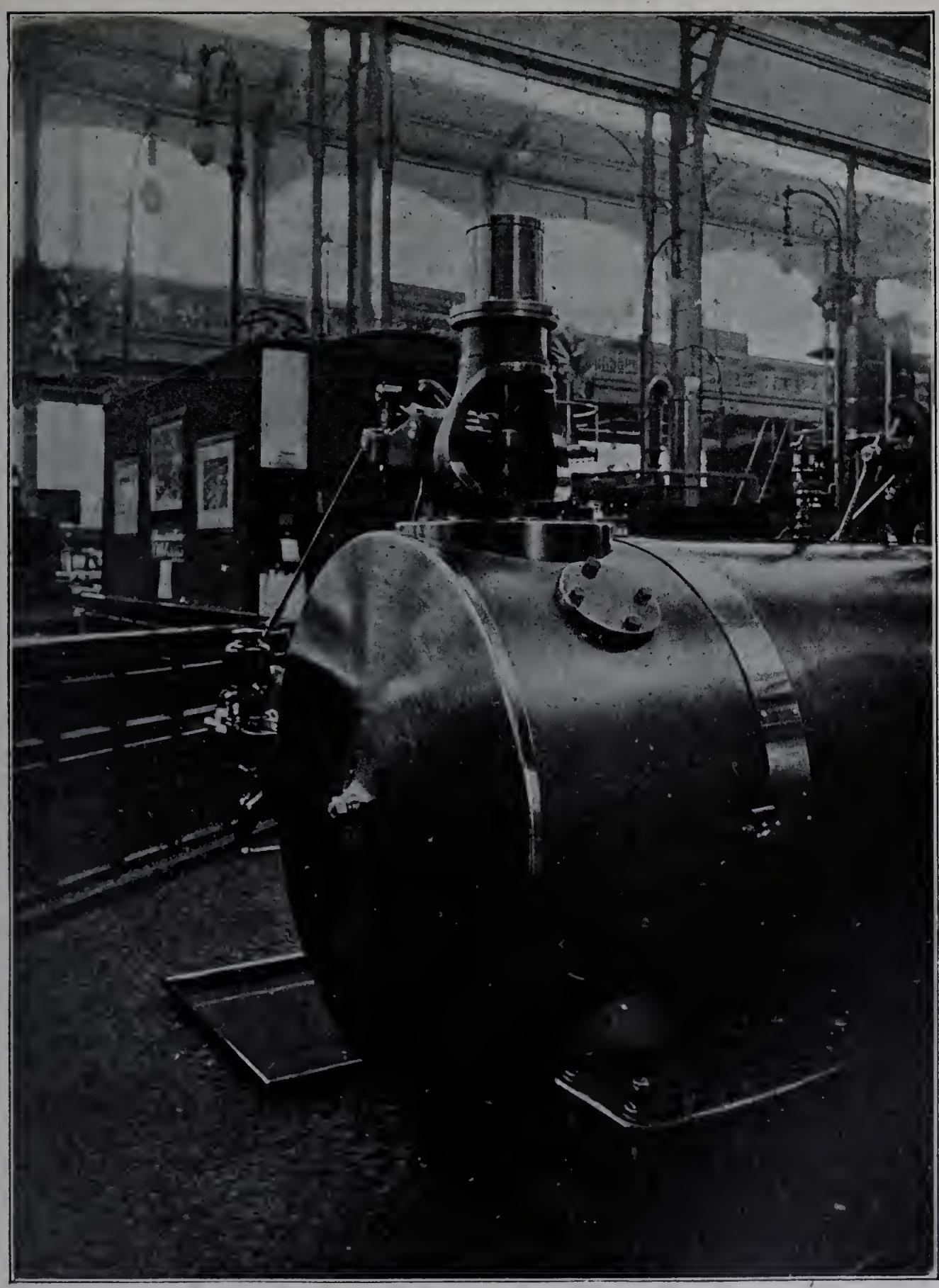


Fig. 363. — Même partie que la fig. 362, vue de l'autre côté.

et à mi-longueur du grand cylindre. Le rapport des admissions dans les deux cylindres prend, pour chaque puissance, un rapport que les constructeurs ont étudié en vue de répartir le mieux possible le travail entre les deux pistons.

Machines tandem à tiroirs Corliss. — L'application des distributions du genre Corliss aux machines compound à cylindres en tandem nécessite un long attirail de bielles, d'un aspect moins heureux que l'arbre longitudinal des distributions précédentes; des soins sont à prendre pour que la distribution ne soit pas influencée par l'inégalité de dilatation entre cet attirail et les cylindres.

Société Escher Wyss. — La Société Escher Wyss, de Zurich, expose une machine de ce type, d'une puissance de 1,000 chevaux, actionnant l'inducteur d'un alternateur à courants triphasés des ateliers d'Oerlikon. L'alternateur est construit pour une puissance apparente de 1,375 kilovolts-ampères, avec un facteur de puissance de 0,8; il est utilisé à l'Exposition, pour 1,000 kilovolts-ampères.

La machine (fig. 364 à 369), établie en vue d'une vitesse angulaire de 105 tours par minute, ne tourne qu'à 94 tours environ, à raison du nombre de pôles de l'inducteur (64) et de la fréquence imposée au courant (50 périodes par seconde). Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m\,65 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.8$$
$$D_2 = 1\quad 10 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.9$$
$$L = 1\quad 20 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m$$
$$N = 105$$

Le bâti à baïonnette, venu de fonte avec le palier de manivelle, porte une glissière cylindrique à circulation d'eau. Les cylindres sont reliés l'un à l'autre par une lanterne largement échancrée sur sa moitié supérieure, afin de permettre l'enlèvement du grand piston; l'entretoisement, dans cette partie évidée, est assuré par une forte tige boulonnée, que l'on retire lorsqu'on a à ouvrir un des cylindres. La tige des pistons est supportée par une glissière au centre de la lanterne.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur; l'enveloppe du petit cylindre reçoit la vapeur vive et celle du grand fait partie du réservoir intermédiaire. Des soupapes de sûreté à ressort sont disposées horizontalement à l'extrémité des logements des tiroirs d'échappement.

Deux excentriques sont calés côte à côte sur l'arbre moteur. Chacun d'eux commande la distribution d'un des deux cylindres. Pour chaque cylindre, un relais de bielles horizontales, faisant suite à la barre de l'excentrique, actionne les manettes des deux tiroirs d'échappement. Le mouvement des tiroirs d'admission est pris sur les mêmes pièces oscillantes, par l'intermédiaire de bielles obliques. Au grand cylindre, le mécanisme est à liaisons complètes; c'est la transformation du mouvement par les bielles obliques qui assure aux tiroirs d'admission la rapidité convenable d'ouverture et de fermeture. Au petit cylindre est un mécanisme à déclic, établi sur le principe de la distribution Frikart (fig. 369). Ce système est employé depuis longtemps par la Société Escher Wyss; mais il a été ici l'objet d'innovations intéressantes. C'est, comme on sait, un déclenchement par mouvement composé. La pièce menée, solidaire du tiroir et sollicitée par

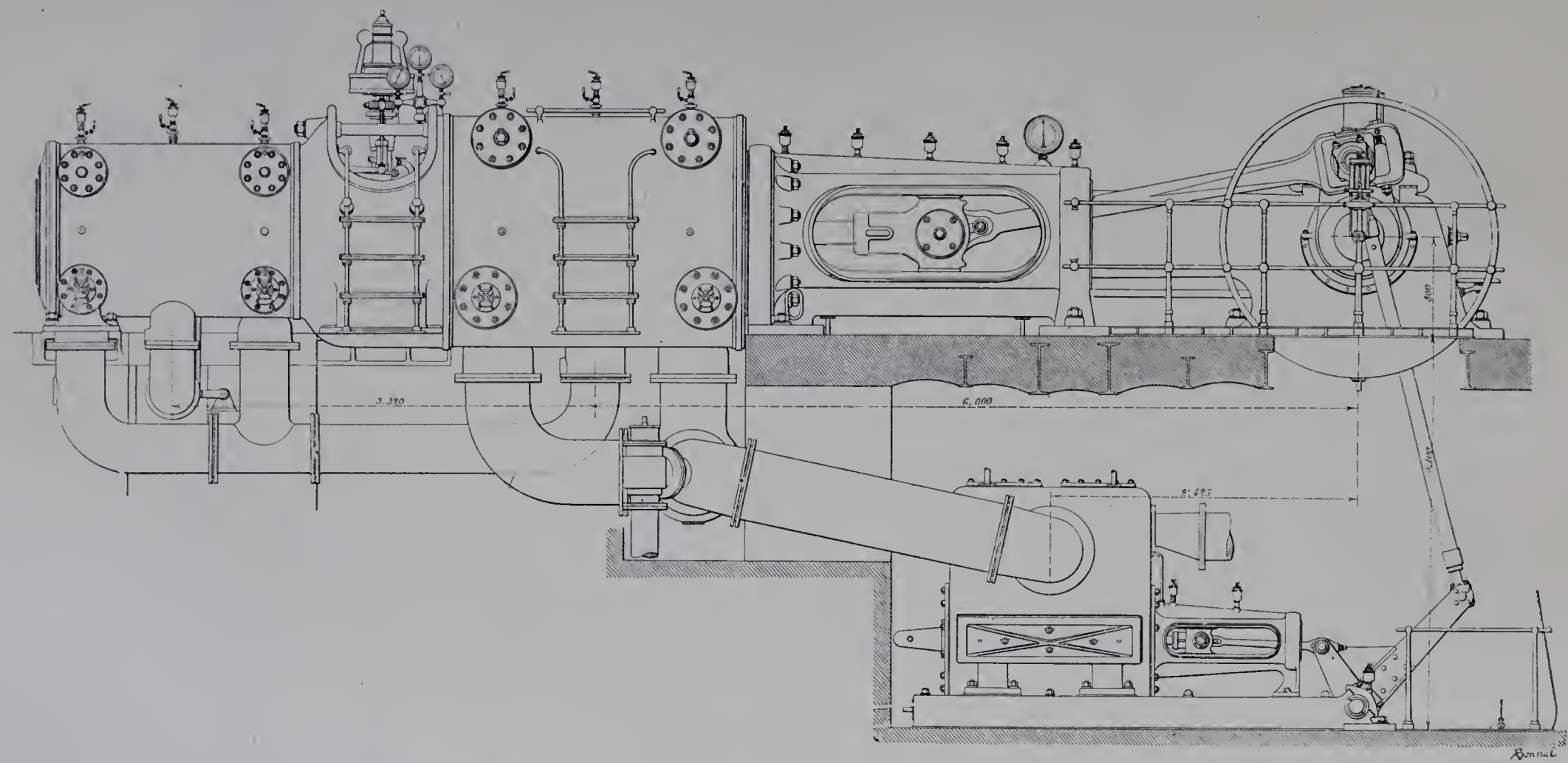


Fig. 364. — Machine de la Société Escher Wyss. — Élévation du côté de la manivelle motrice.

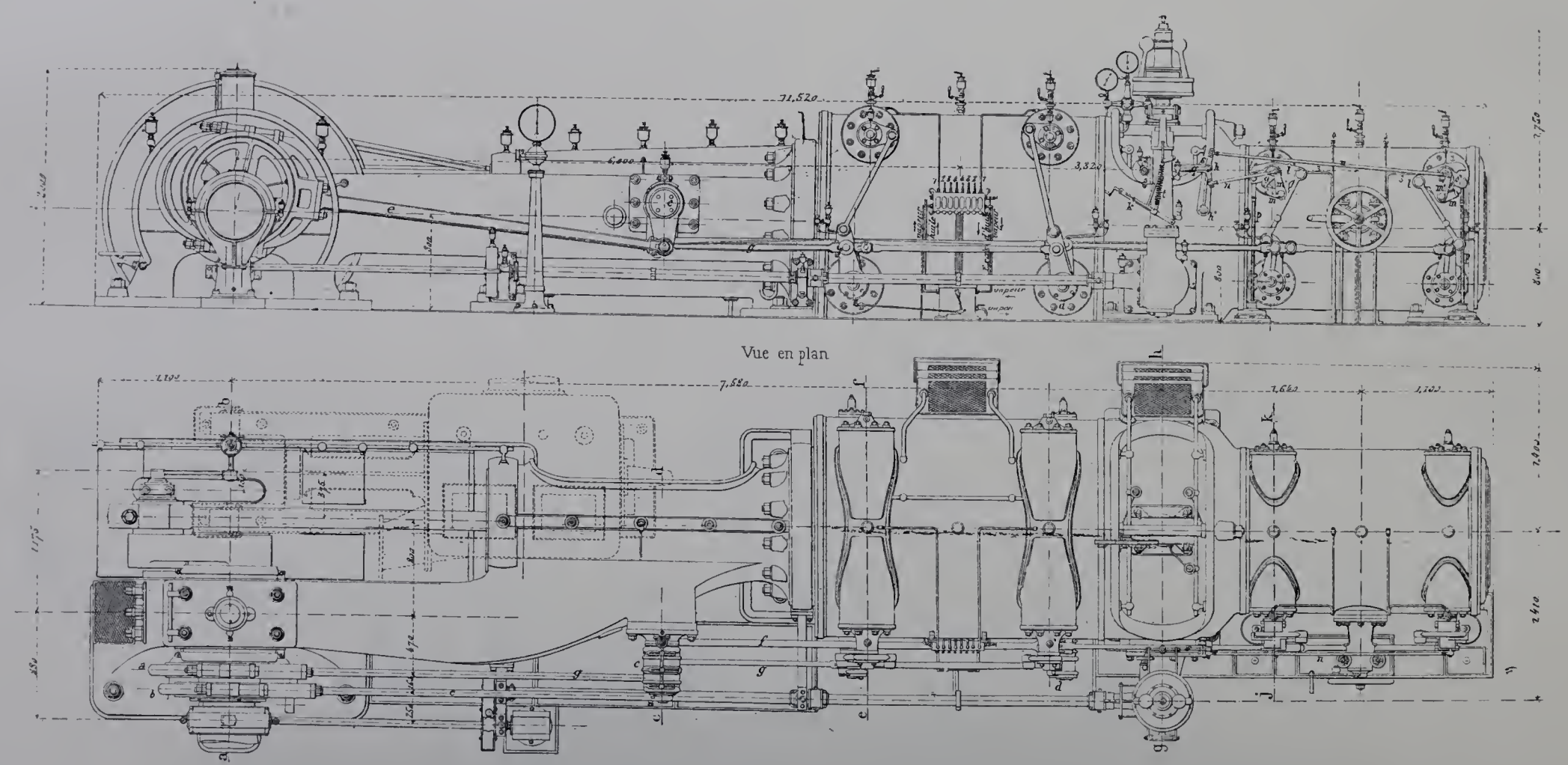


Fig. 365. — Plan et élévation du côté des bielles de distribution.

le rappel p dans le sens de la fermeture, et la pièce menante l, actionnée par la bielle de commande, oscillent autour du même axe. La pièce menante agit sur la pièce menée par l'intermédiaire d'une potence mm' en forme de levier coudé, dont la tête porte la touche d'entraînement, et dont la queue aurait à décrire un arc de cercle autour de l'axe d'oscillation commun des deux pièces, si les deux touches de l'enclenchement ne devaient avoir aucun glissement l'une sur l'autre. En réalité, cette queue du levier coudé décrit une courbe en 8, parce qu'elle est reliée par une bielle n à un petit balancier auxiliaire hh', dont la phase d'oscillation est à peu près en quadrature avec celle de la pièce menante. La trajectoire du bord de la touche d'entraînement est, par suite, une courbe allongée; le déclenchement a lieu au point où cette trajectoire coupe l'arc de cercle qui constitue la trajectoire du bord de la touche menée. Or ce point d'intersection est variable au gré du régulateur, parce que la bielle n reliant la queue du levier coudé mm' au balancier auxiliaire hh' n'est pas directement attelée à celui-ci. Elle est attachée à une potence s articulée sur le balancier et dont l'orientation est placée, par l'intermédiaire d'une bielle de relevage, sous la dépendance du régulateur. Le même balancier auxiliaire et la même potence servent pour les deux tiroirs d'admission; la potence est en réalité un levier à trois branches, savoir, une longue branche liée au système de relevage du régulateur et deux courtes branches liées respectivement au mécanisme de distribution du tiroir $\mathcal{N}$ et à celui du tiroir $\mathcal{R}$.

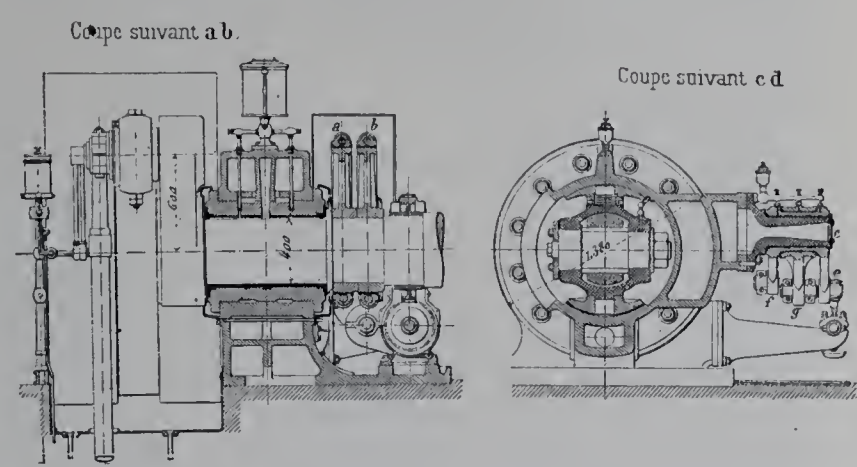


Fig. 366. — Coupes du palier principal et de la glissière.

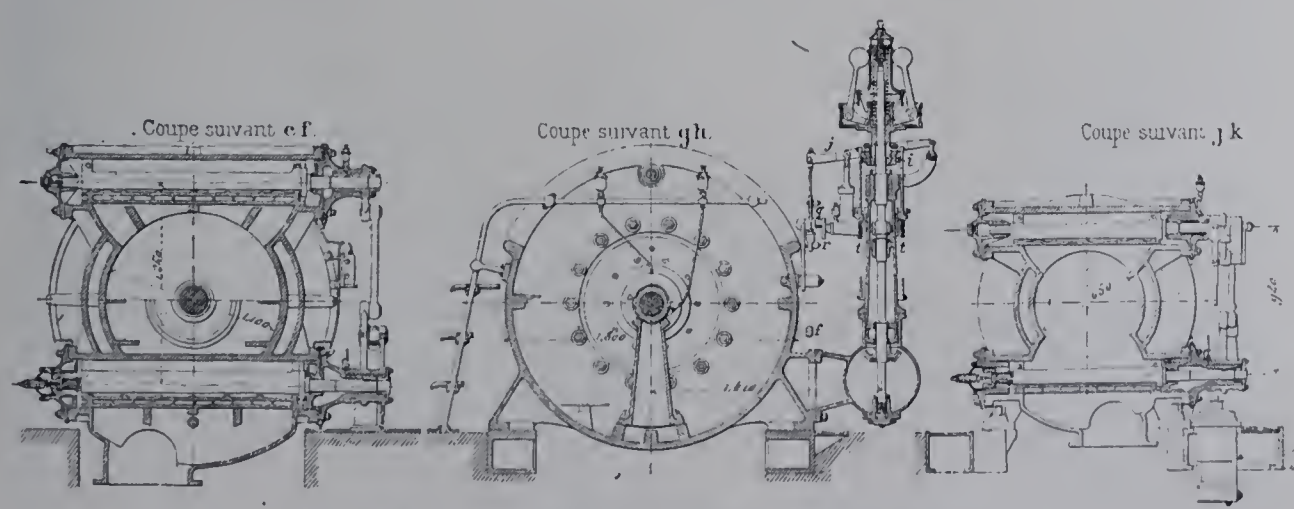


Fig. 367. — Coupes des cylindres et de la lanterne.

Afin d'éviter que la précision du mécanisme soit influencée par les dilatations inégales, le balancier auxiliaire et le régulateur à force centrifuge ont été placés tout près du cylindre d'admission, et fixés, le balancier par son axe d'oscillation, le régulateur par sa

colonnette verticale, à la lanterne d'entretoisement des deux cylindres. L'arbre du régulateur reçoit son mouvement par engrenages d'angle et le mouvement du balancier auxi-

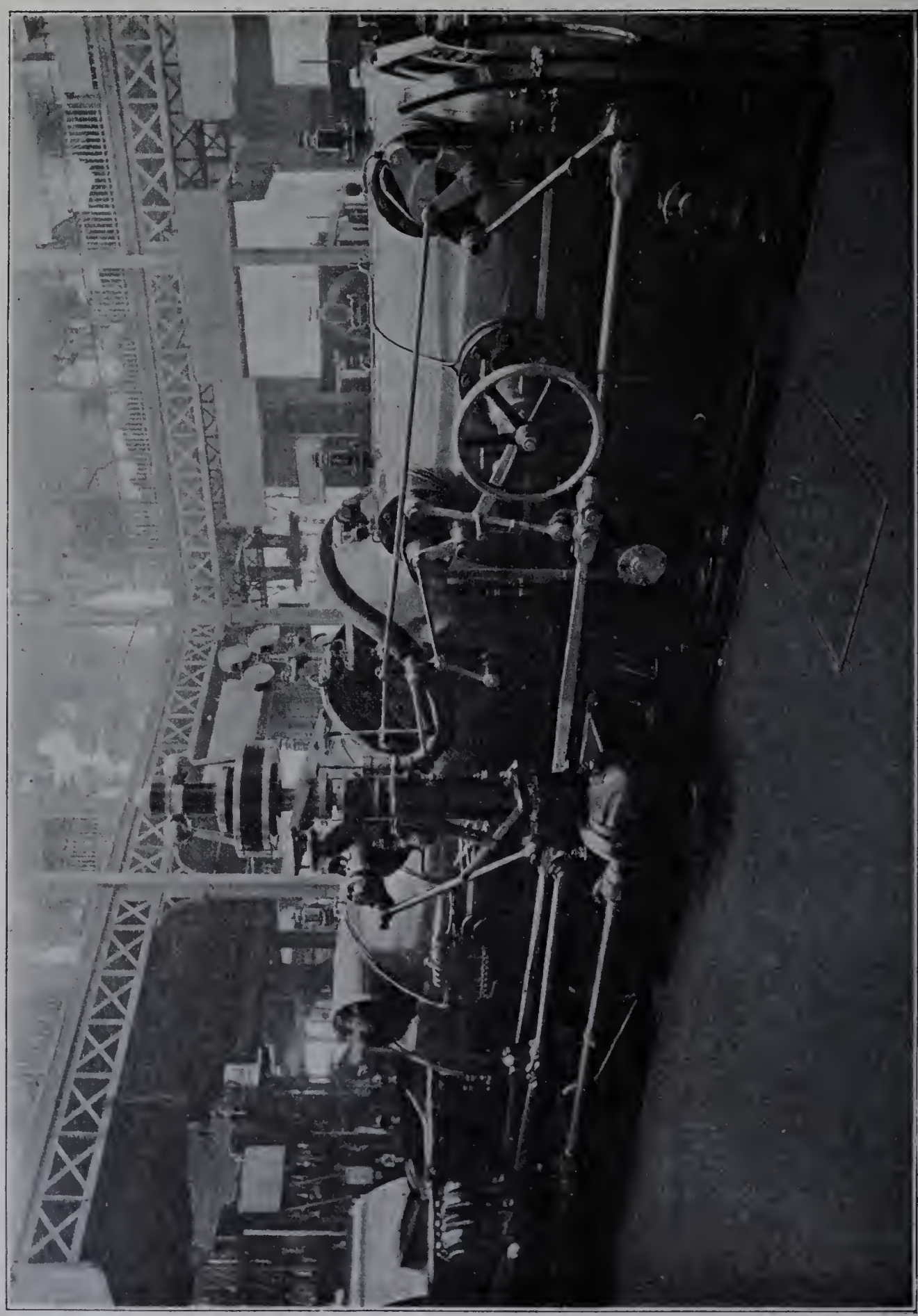


Fig. 368. — Vue de la machine tandem de la Société Escher Wyss.

liaire est pris par une biellette q sur un petit plateau-manivelle engrené lui-même sur cet arbre.

Le retour du tiroir à la position de fermeture, lors du déclenchement, est obtenu par un dispositif de rappel pneumatique placé au pied du système; il y a donc une bielle de rappel verticale, exerçant son action de haut en bas. On a eu soin de disposer le mécanisme d'enclenchement de manière que la touche menée se trouve, par rapport à l'axe d'oscillation, du même côté que le point d'attache de la bielle de rappel; l'action d'entraînement par la touche menante s'exerce donc de bas en haut.

Les deux actions équilibrent partiellement leurs actions sur l'axe, qui se trouve ainsi soulagé.

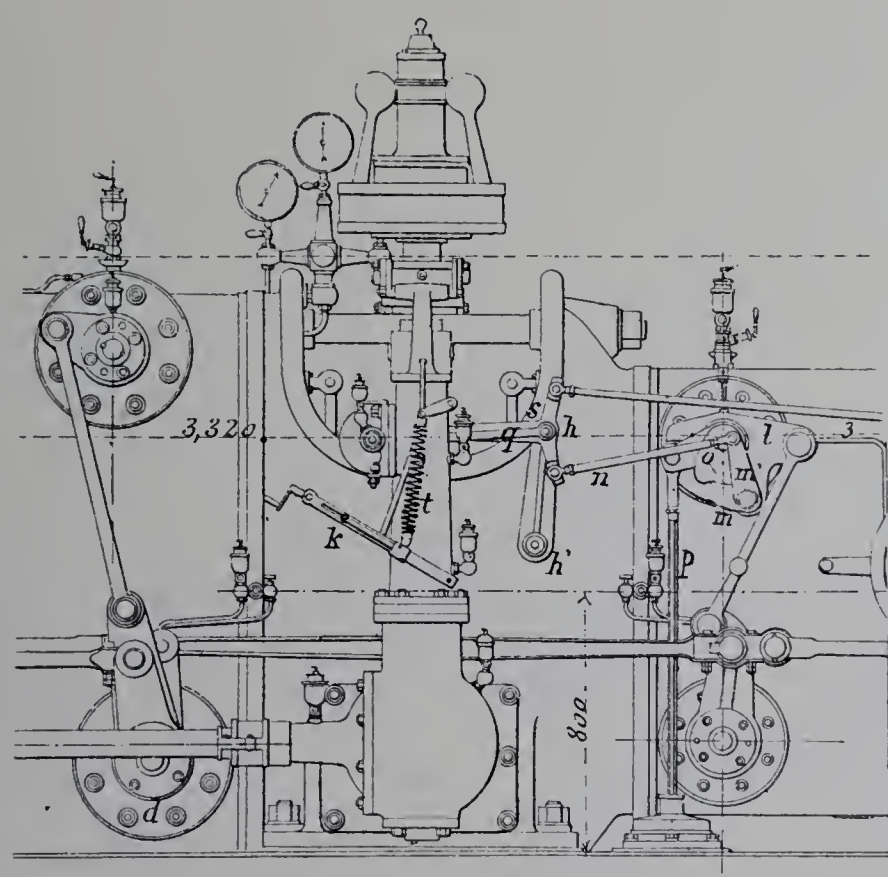


Fig. 369. — Détail du mécanisme de distribution. — Élévation.

Le régulateur à force centrifuge appartient au système bien connu que la Société Escher Wyss applique à ses moteurs de toute espèce, et dont les détails ont été indiqués par la fig. 253; il est pourvu d'un dispositif permettant de faire varier, pendant la marche, la tension des ressorts agissant sur le manchon. On a ainsi le moyen de régler la relation entre la vitesse et la puissance.

La machine est munie d'un vireur à vapeur, ayant trois cylindres à simple effet et développant 18 chevaux.

Machine Dujardin de 850 chevaux. — La machine compound de 850 chevaux, à deux cylindres en tandem, n'est pas le plus puissant moteur exposé par MM. Dujardin et Cie, de Lille; mais les quatre machines de cette maison, qui représentent une puissance totale de plus de 4,000 chevaux, sont analogues par les dispositions générales de construction et de distribution; ce premier exemple va nous donner l'occasion d'en décrire les traits essentiels.

IMPRIMERIE NATIONALE.

La machine a été établie sur les données suivantes :

$$D_1 = 0^m\,65 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.08$$
$$D_2 = 1\;\;10 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.87$$
$$L = 1\;\;35 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m\,60$$
$$N = 80$$

Alimentée par de la vapeur à la pression de 9 kilogrammes par centimètre carré, avec une admission de 18 p. 100 au petit cylindre, ce qui correspond à une expansion totale de 17, la machine développe 850 chevaux indiqués, dont 480 chevaux par le petit cylindre et 370 par le grand.

Sur l'arbre de la machine est calé un volant portant les pôles inducteurs d'un alternateur à courants triphasés, étudié par M. E. Labour et construit par la Société «l'Éclairage électrique». Il convenait d'actionner cet inducteur par un moteur souple, l'alternateur étant calculé en vue d'actionner une distribution de force par petits et moyens moteurs, au régime normal de 1,200 kilovolts-ampères pour 600 kilowatts. Cet inducteur volant offre un diamètre extérieur de 5 m. 69 et pèse 45 tonnes. Il réduit le coefficient d'irrégularité dans le tour à 1/300.

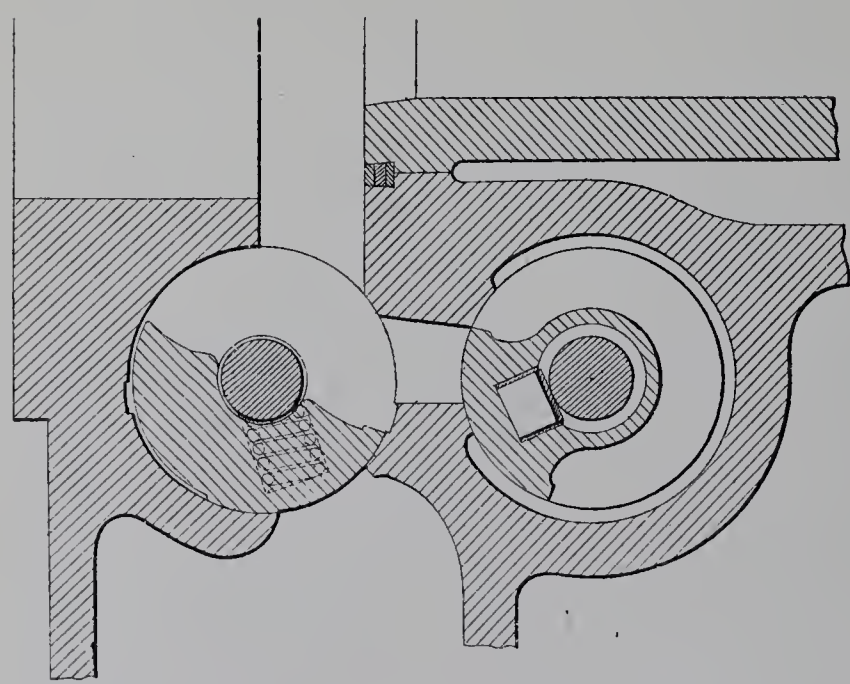


Fig. 370. — Tiroir d'admission et tiroir d'échappement juxtaposés. (MM. Dujardin et Cie.)

Le bâti à baïonnette est venu de fonte avec un palier à large assise et offre à la tête de piston une glissière cylindrique de grande surface. L'arbre moteur, d'un diamètre de 0 m. 60 au milieu et de 0 m. 43 dans les paliers, est en acier Martin, foré suivant son axe. La manivelle a été emmanchée sous une pression hydraulique de 340 tonnes et son tourillon sous une pression de 135 tonnes : ces emmanchements sont sans cale ni clavette. Il en est de même de l'emmanchement de l'axe de la crosse, effectué sous une pression hydraulique de 100 tonnes.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour; ils sont construits avec chemise intérieure rapportée : la chemise, emmanchée à la presse, est en fonte de qualité spéciale; des cercles de cuivre fortement matés assurent l'étanchéité des joints. Il y a aussi une enveloppe de vapeur autour du réservoir intermédiaire. Les enveloppes sont chauffées, autour du cylindre à haute pression par de la vapeur vive, autour du *receiver* et du grand cylindre par de la vapeur détendue.

Au lieu de placer, comme il est d'usage dans le système Corliss, les distributeurs d'admission en haut de chaque cylindre, à l'opposé de ceux d'échappement, MM. Dujardin préfèrent le groupement que l'on avait adopté pour les tiroirs à grille des machines Wheelock : ils rassemblent tous les distributeurs au bas du cylindre, juxtaposant un tiroir d'admission à chaque tiroir d'échappement. La communication avec le cylindre se fait par une même lumière pour les deux distributeurs (fig. 370). La fig. 371 montre les dispositions de détail du distributeur d'admission.

La distribution est commandée, pour chaque cylindre, par un excentrique calé sur l'arbre moteur et actionnant, par des relais de bielles, deux balanciers pendentifs disposés, l'un au-dessus du groupe des deux tiroirs *N*, l'autre au-dessus du groupe des tiroirs *R*. Sur l'extrémité inférieure de chaque balancier pendentif sont attelées deux biellettes, allant l'une à la manette de commande du tiroir d'admission, l'autre à celle du tiroir d'échappement.

Ces dispositions suffisent pour tous les tiroirs d'échappement ainsi que pour les tiroirs d'admission du grand cylindre, où la détente est fixe. Aux tiroirs d'admission du petit cylindre, la pièce actionnée comme il vient d'être dit est la pièce menante d'un mécanisme à déclic dont l'arrangement mérite de fixer l'attention : la fig. 372 en donne le détail.

Oscillant autour de l'axe du tiroir, la pièce menante entraîne la pièce

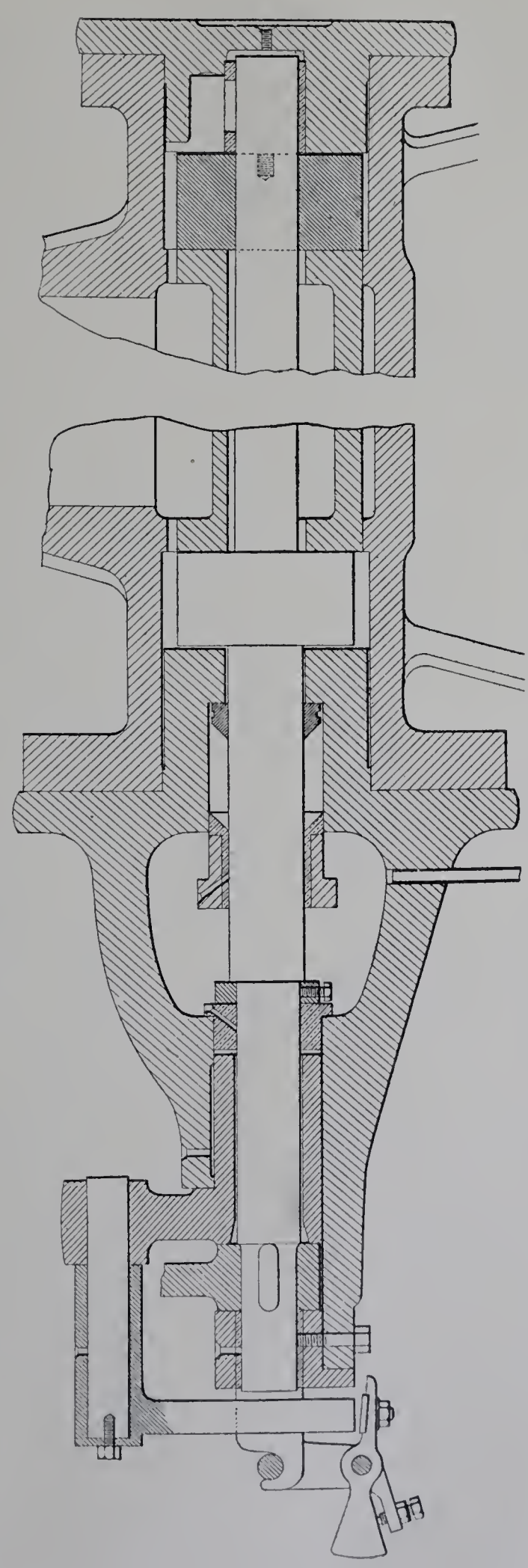


Fig. 371. — Coupe longitudinale d'un tiroir d'admission.

menée par un doigt articulé armé d'une plaquette. Ce doigt, qu'un ressort tend continuellement à maintenir ou à ramener dans la position d'enclenchement, constitue l'un des bras d'un levier coudé dont l'autre bras, formant gâchette, aboutit tout près du centre d'oscillation : la gâchette est profilée, dans cette partie, suivant un arc sensiblement concentrique à ce centre.

Une tringle horizontale, de direction fixe, mais susceptible d'un mouvement de va-et-vient suivant sa longueur, est disposée à hauteur de ce même centre et présente son extrémité en face de la gâchette. Il suffit que cette tringle s'avance jusqu'à une certaine position, toujours sensiblement la même quelle que soit l'orientation de la pièce menante, pour pousser la gâchette et produire le déclenchement.

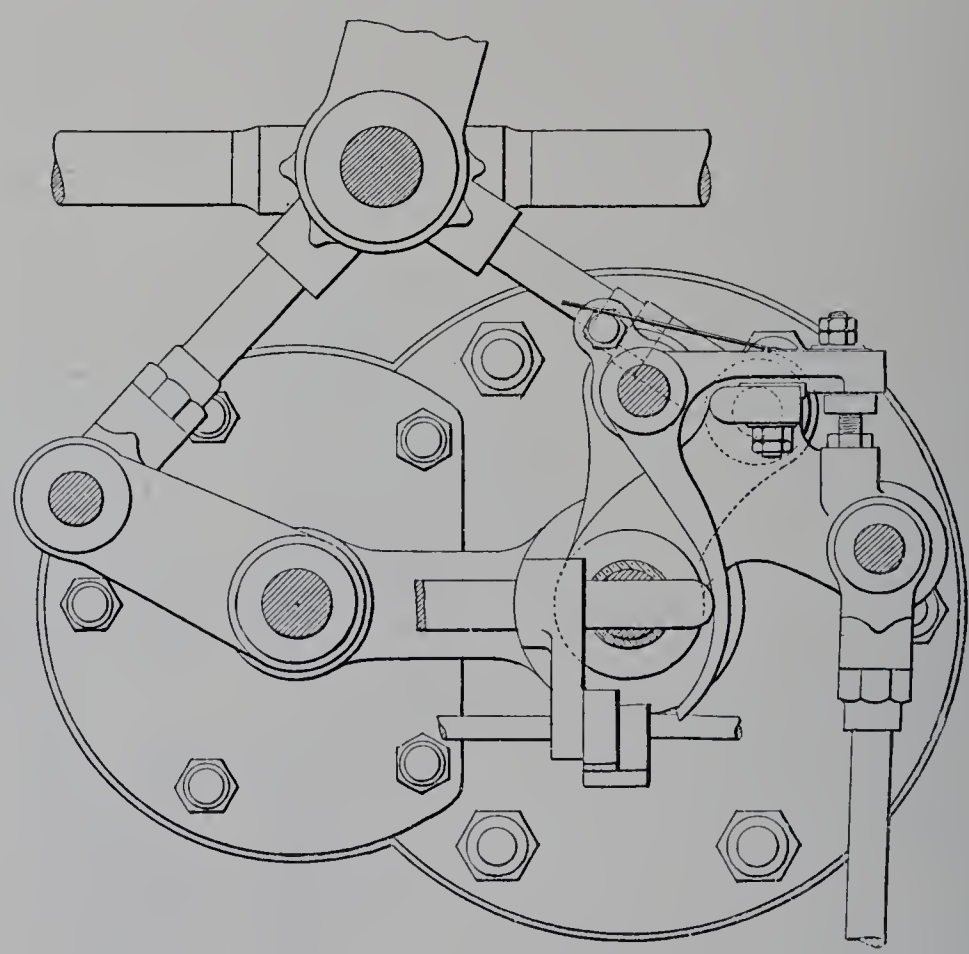


Fig. 372. — Commande d'un tiroir d'admission, avec déclenchement, et tiroir d'échappement correspondant.

L'intervention de la tringle-poussoir est obtenue de la manière suivante. Cette tringle est continuellement animée d'un mouvement de va-et-vient alternatif, de quelques centimètres de course, pris sur l'arbre moteur par un petit excentrique spécial et transmis par un relais de bielles. Ce mouvement alternatif, légèrement en avance sur celui du piston, n'est variable ni comme phase, ni comme amplitude; mais c'est, pour ainsi dire, la longueur de la tringle qui peut varier. Suivant qu'on allonge ou qu'on raccourcit celle-ci, l'instant où le mouvement de va-et-vient amène le poussoir en contact avec la gâchette se trouve avancé ou retardé.

Les dispositions respectives du tiroir *N* et du tiroir *R* sont telles, que, pour une même modification de l'admission aux deux bouts du cylindre, il faut allonger la tringle de

déclenchement du tiroir *V* et raccourcir d'autant celle du tiroir *Æ*, ou *vice versa*. Dès lors, la longueur de ces tringles est placée sous la dépendance du régulateur à force centrifuge au moyen de l'artifice que les fig. 373 et 374 font comprendre. Le mouvement alternatif pris sur le petit excentrique aboutit d'abord à un balancier vertical, dont l'axe est fixé à la colonnette du régulateur. Ce balancier, par un relais de biellettes, communique son mouvement d'oscillation à deux autres petits balanciers, dont l'un conduit la tringle de déclenchement du tiroir *V*, l'autre celle du tiroir *Æ*.

Les axes des petits balanciers sont susceptibles d'être rapprochés ou écartés l'un de l'autre par le régulateur. Il suffit de considérer le système dans sa position moyenne, à mi-oscillation, comme le représente la fig. 373, pour voir que rapprocher ces axes l'un de l'autre, par exemple, équivaut à allonger la tringle conduite par le petit balancier de gauche et à raccourcir l'autre tringle.

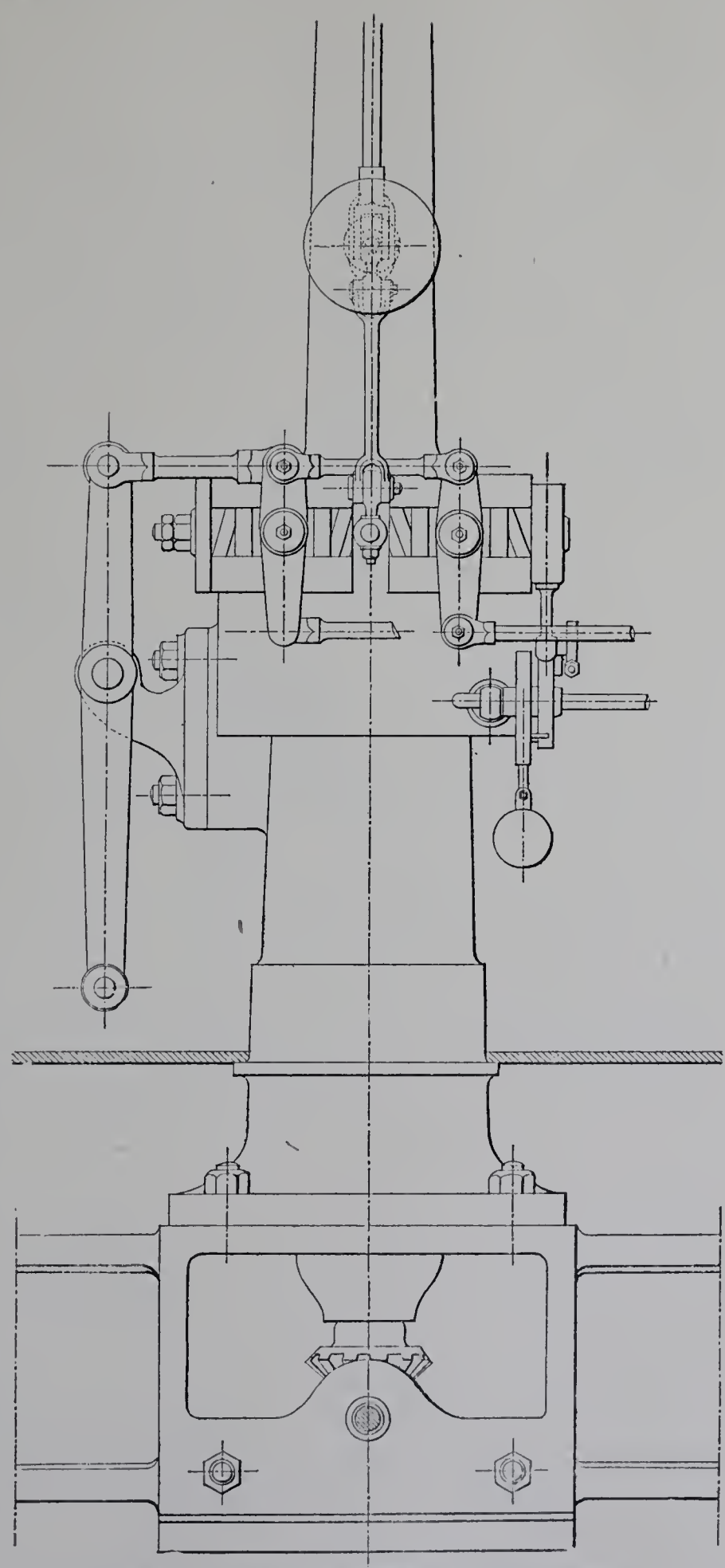


Fig. 373. — Commande des poussoirs de déclenchement. Elévation parallèle à l'axe des cylindres.

A cet effet, ils sont portés par des chariots montés sur un tambour portant des rainures hélicoïdales, disposées comme les deux filetages inverses de la distribution Meyer; il suffit donc de faire tourner le tambour dans un sens ou dans l'autre, pour rapprocher ou pour écarter les deux

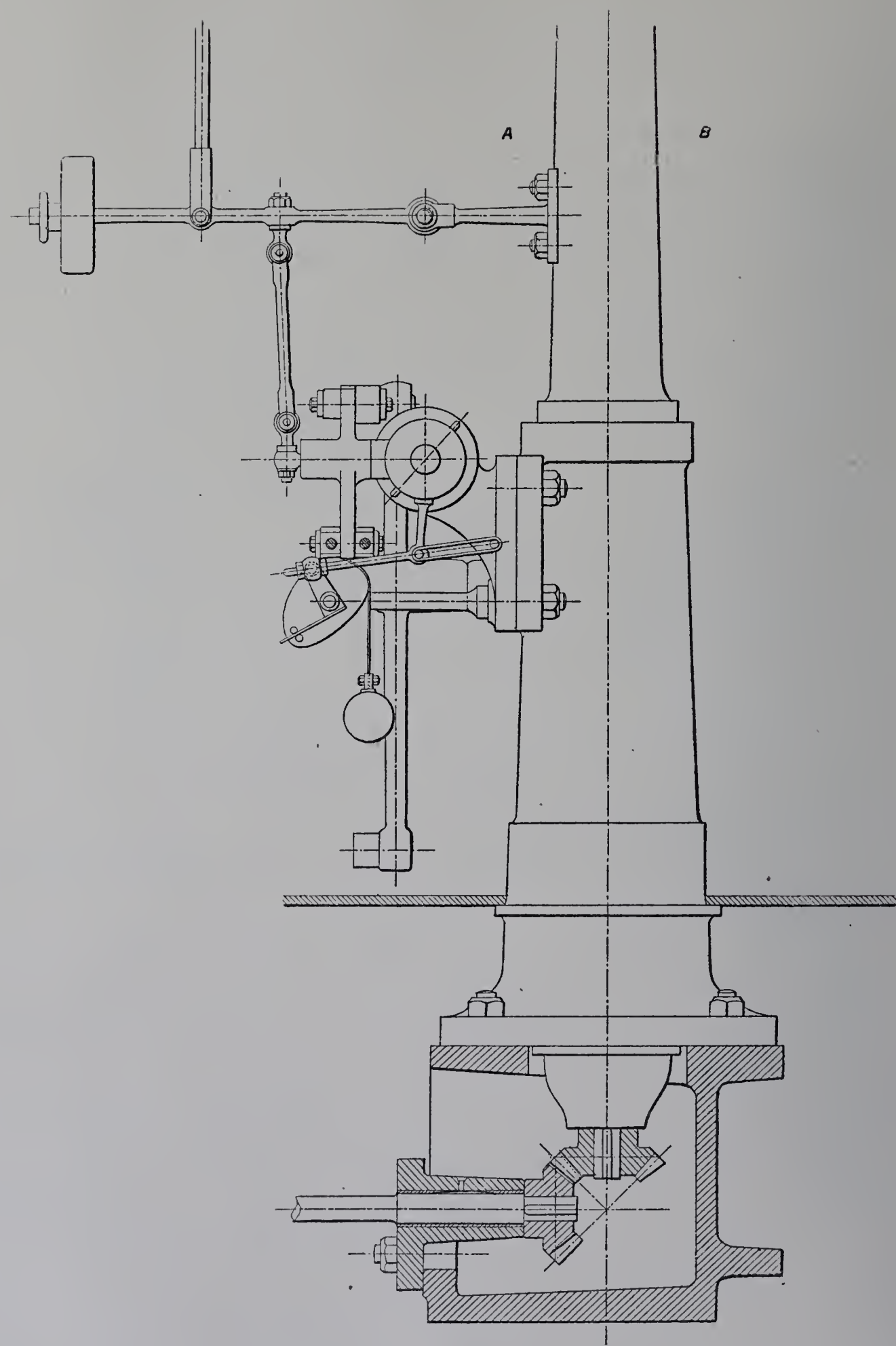


Fig. 374. — Commandes des poussoirs de déclenchement. — Élévation transversale.

écrous. C'est sur ce tambour, par l'intermédiaire d'une petite manivelle, que s'exerce l'action du régulateur. A raison de ce mode de commande, celui-ci n'a aucune réaction à subir du mécanisme de distribution.

S'il arrivait que le manchon du régulateur tombât au bas de sa course, les petits balanciers des tringles se trouveraient amenés dans une position telle, que les tringles empêcheraient totalement l'enclenchement, amenant ainsi l'arrêt de la machine. On peut, au besoin, faire jouer à la main ce dispositif de sécurité.

Machine de 350 chevaux de la Société Alsacienne. — La disposition des deux cylindres en tandem se trouve aussi combinée avec une distribution Corliss dans une machine compound de 350 chevaux, présentée par la Société Alsacienne de Constructions mécaniques (*fig.* 375 et 376). Cette machine a pour dimensions :

$$D_1 = 0^m 44 \qquad \frac{L}{D_1} = 2$$
$$D_2 = 0\ 72 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.7$$
$$L = 0\ 90$$
$$N = 125 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 75$$

Elle porte sur son arbre un volant de 3 m. 80 de diamètre et l'induit d'une dynamo à courant continu de 200 kilowatts.

L'entretoisement des deux cylindres, au lieu d'être fait par une lanterne, est réalisé par deux entretoises creuses, venues de fonte avec les deux couvercles de cylindres qu'elles réunissent. La forme de ces entretoises est celle de deux portions de fourreau creux, disposées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la tige des pistons : autrement dit, les deux fonds de cylindres sont réunis par un fourreau creux interrompu sur les côtés pour laisser les presse-étoupe accessibles. La capacité intérieure de cette double entretoise fait partie du réservoir intermédiaire; le reste de celui-ci est constitué par l'enveloppe du grand cylindre.

Cette disposition simplifie la tuyauterie. Lorsqu'il faut visiter le grand cylindre du côté de l'arrière, ou le petit du côté de l'avant, ou encore retirer le grand piston, elle oblige à tirer le petit cylindre en arrière en le faisant glisser sur son châssis.

La commande de la distribution est obtenue au moyen de deux excentriques juxtaposés sur l'arbre moteur et calés respectivement à 135 degrés et 70 degrés en avant de la manivelle. Le premier actionne toute la distribution du grand cylindre : il fait osciller, par un relais de bielles, un plateau circulaire d'où partent les bielles allant aux quatre distributeurs. La distribution ainsi obtenue est réglable à la main; elle comporte normalement 50 p. 100 d'admission, avec 15 p. 100 d'échappement anticipé et autant de compression. Les tiroirs d'admission sont à double ouverture, d'après le principe du tiroir de Trick.

Le second excentrique actionne les tiroirs d'admission du petit cylindre. La transmission de mouvement est faite par un relais de bielles sans intervention de plateau oscillant.

Il y a déclic par butée; le déplacement du tiroir dans le sens de l'ouverture, tant que le déclenchement n'intervient pas, est assez prolongé pour que ce genre de déclic soit applicable jusqu'à 60 p. 100 de la course. La position de la butée est placée sous la dépendance d'un puissant régulateur à ressorts horizontaux, réglable à volonté. Ce régulateur n'a pas été placé auprès du petit cylindre comme dans les machines précédentes; il a conservé la position, à l'avant du cylindre antérieur, qu'il occupait naturellement dans les machines où celui-ci était le cylindre de haute pression. Des tringles horizontales le relient aux butées de déclenchement.

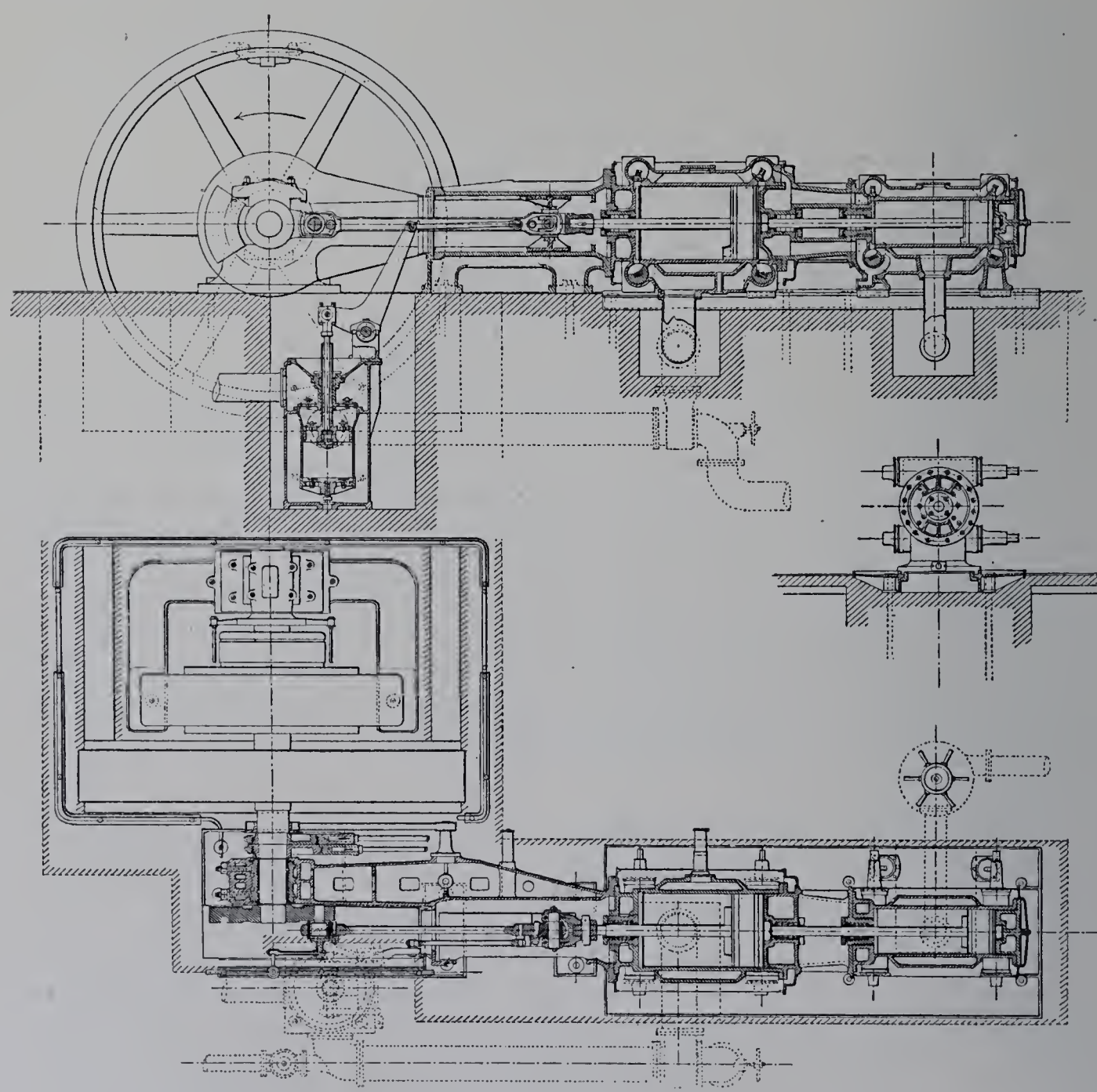


Fig. 375. — Machine compound tandem de la Société alsacienne de constructions mécaniques.

Quant aux tiroirs d'échappement du petit cylindre, ils ont un mouvement qui dépend à la fois des deux excentriques. Une pièce oscillante est articulée, d'une part, sur le jeu de bielles actionnant les tiroirs d'admission de ce cylindre, d'autre part, sur un point du plateau circulaire qui commande la distribution du grand; c'est l'extrémité inférieure

de cette pièce qui mène les tiroirs. Ce mouvement composé permet de régler l'avance à l'échappement indépendamment des autres éléments de la distribution.

Machines horizontales compound à cylindres parallèles. — Avec les cylindres disposés parallèlement, la machine à double expansion peut être horizontale ou verticale.

Dans le premier cas, les bâtis des deux cylindres prennent place sur deux massifs que l'on n'a pas à craindre d'écarter l'un de l'autre.

On dispose les deux manivelles aux extrémités de l'arbre moteur, et c'est sur la partie centrale de celui-ci, entre les deux paliers, que l'on monte le volant et la poulie motrice ou, s'il s'agit d'un groupe électrogène, la partie tournante du système électrique. Les manivelles sont calées en général à 90 degrés et, en tous cas, sous un angle permettant, par la simple ouverture d'un dépiqueur, de faire démarrer le moteur dans toutes ses positions.

Distributions à soupapes. — Avec l'emploi des soupapes comme organes de distribution, nous trouvons de beaux exemples de ce plan général dans plusieurs sections étrangères, en même temps que des solutions intéressantes soit pour l'accroissement de la vitesse angulaire, soit pour l'emploi de la vapeur surchauffée.

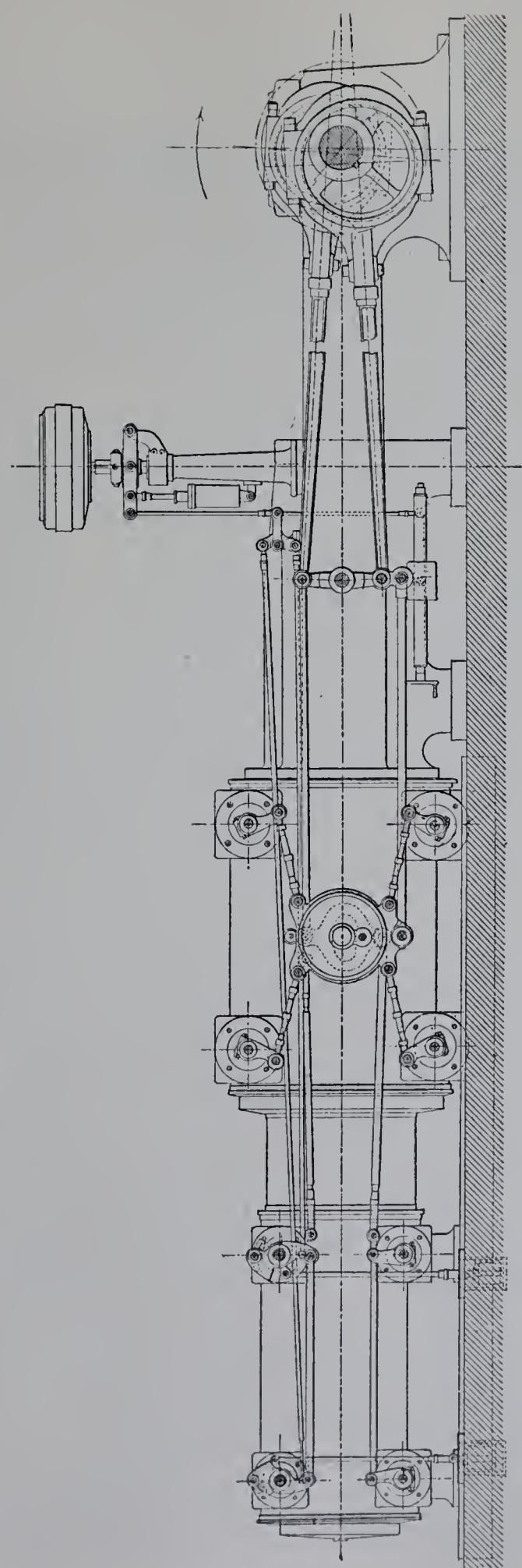


Fig. 376. — Élévation de la machine compound tandem. (Société alsacienne.)

M. L. Lang. — Le puissant moteur établi par la fabrique de machines Ladislas Lang, de Buda-Pest (Hongrie), tourne à 125 tours par minute. Les fig. 377 à 383

en montrent les dispositions. Il actionne l'inducteur-volant d'un alternateur Ganz à courants triphasés ayant une puissance apparente de 1,200 kilovolts-ampères et un facteur

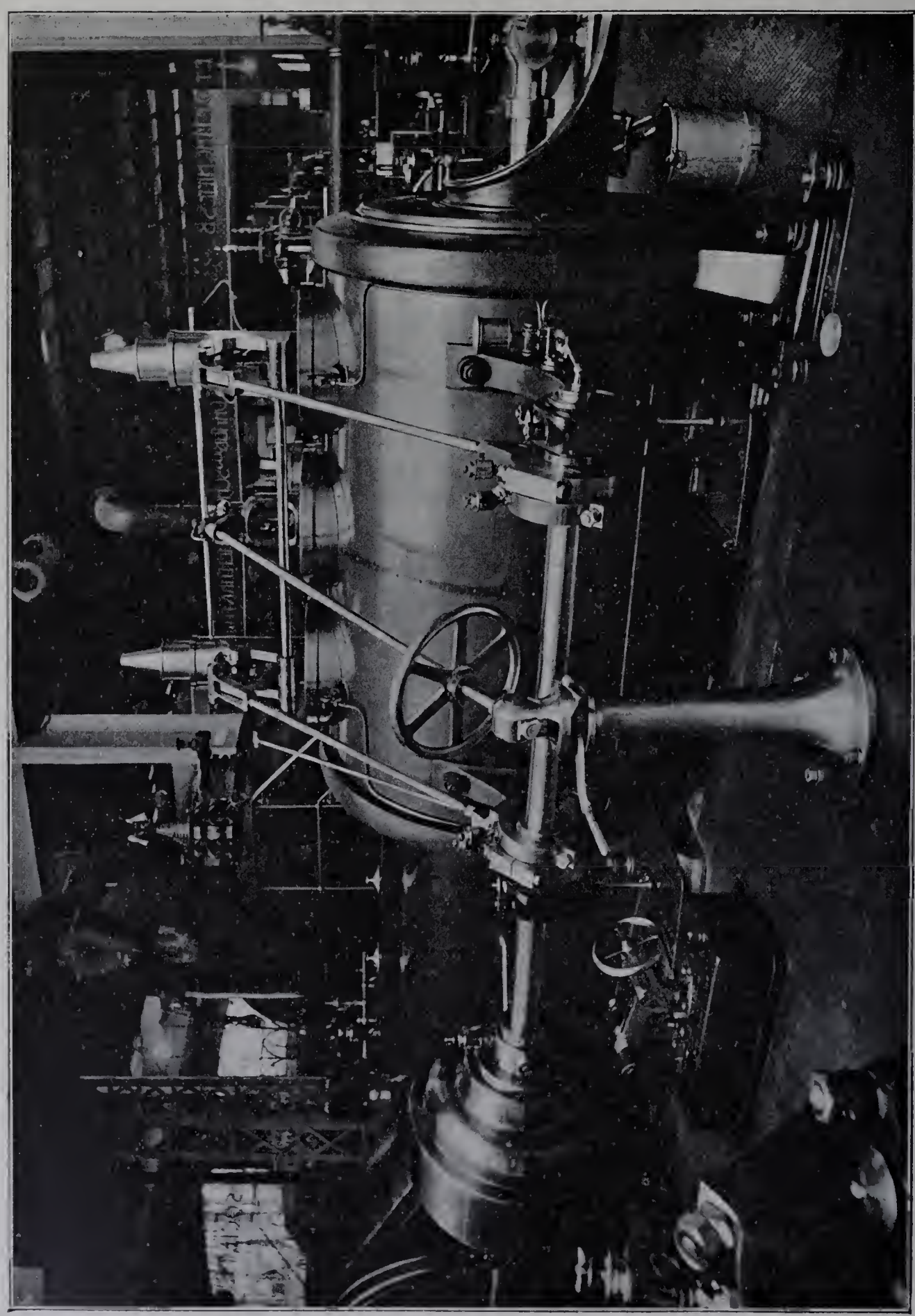


Fig. 377. — Machine L. Lang. — Vue du petit cylindre.

de puissance de 0.7; cet inducteur, du poids de 24 tonnes, mesure 3 m. 70 de diamètre, ce qui lui donne une vitesse périphérique de 24 m. 40 par seconde.

Les manivelles sont calées à 90 degrés. Les dimensions de la machine comportent, pour les pistons, une vitesse linéaire moyenne qui dépasse 4 mètres par seconde, ainsi que le montre le tableau suivant :

$D_1 = 0^m 725$	$\frac{L}{D_1} = 1.38$
$D_2 = 1\ 15$	$\frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.52$
$L = 1\ 00$	
$N = 125$	$\frac{2LN}{60} = 4^m 17$

La puissance indiquée est de 1,200 chevaux avec de la vapeur à 10 kilogrammes par centimètre carré et 26 p. 100 d'introduction au petit cylindre.

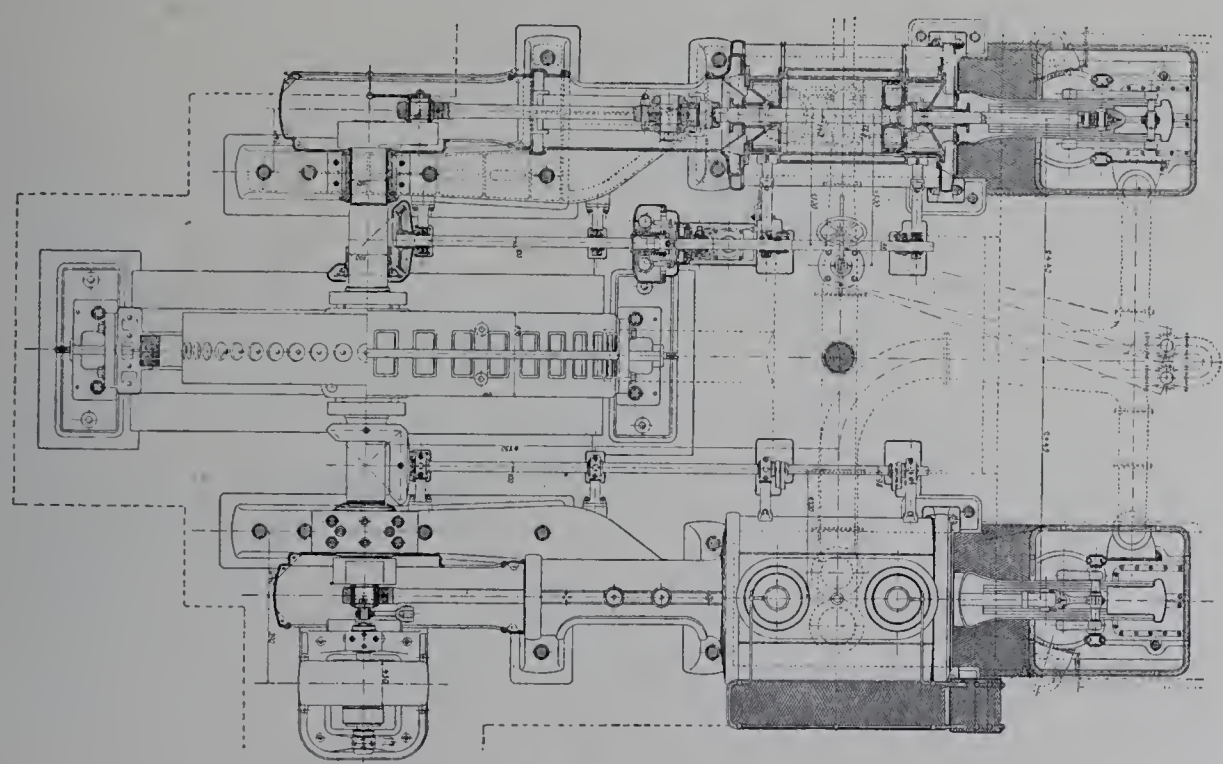


Fig. 378. — Machine L. Lang. — Plan.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour. L'enveloppe du petit cylindre est alimentée par la vapeur vive, celle du grand fait partie du réservoir intermédiaire.

Chaque piston est soutenu par une tige et une contre-tige; tandis que la tige a sa crosse guidée dans la glissière cylindrique du bâti à baïonnette, la contre-tige a son extrémité supportée par une glissière spéciale disposée derrière le cylindre; les presse-étoupe à garniture métallique sont flottants.

Sur l'extrémité de chaque contre-tige est attelée, par l'intermédiaire d'une biellette, le balancier de commande d'une pompe à air, la machine étant à double condenseur.

La distribution est faite au moyen de soupapes à deux sièges pour l'admission, à quatre pour l'échappement. Cette distribution est du type Collmann : la faible valeur de la masse libérée par le déclic, jointe à la précision du rappel avec frein à huile,

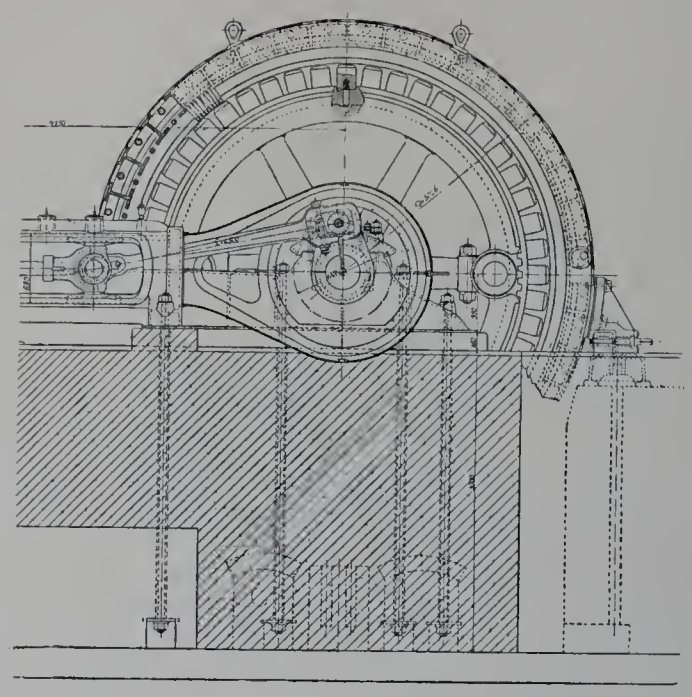


Fig. 379. — Élévation du palier et de la manivelle, côté du petit cylindre.

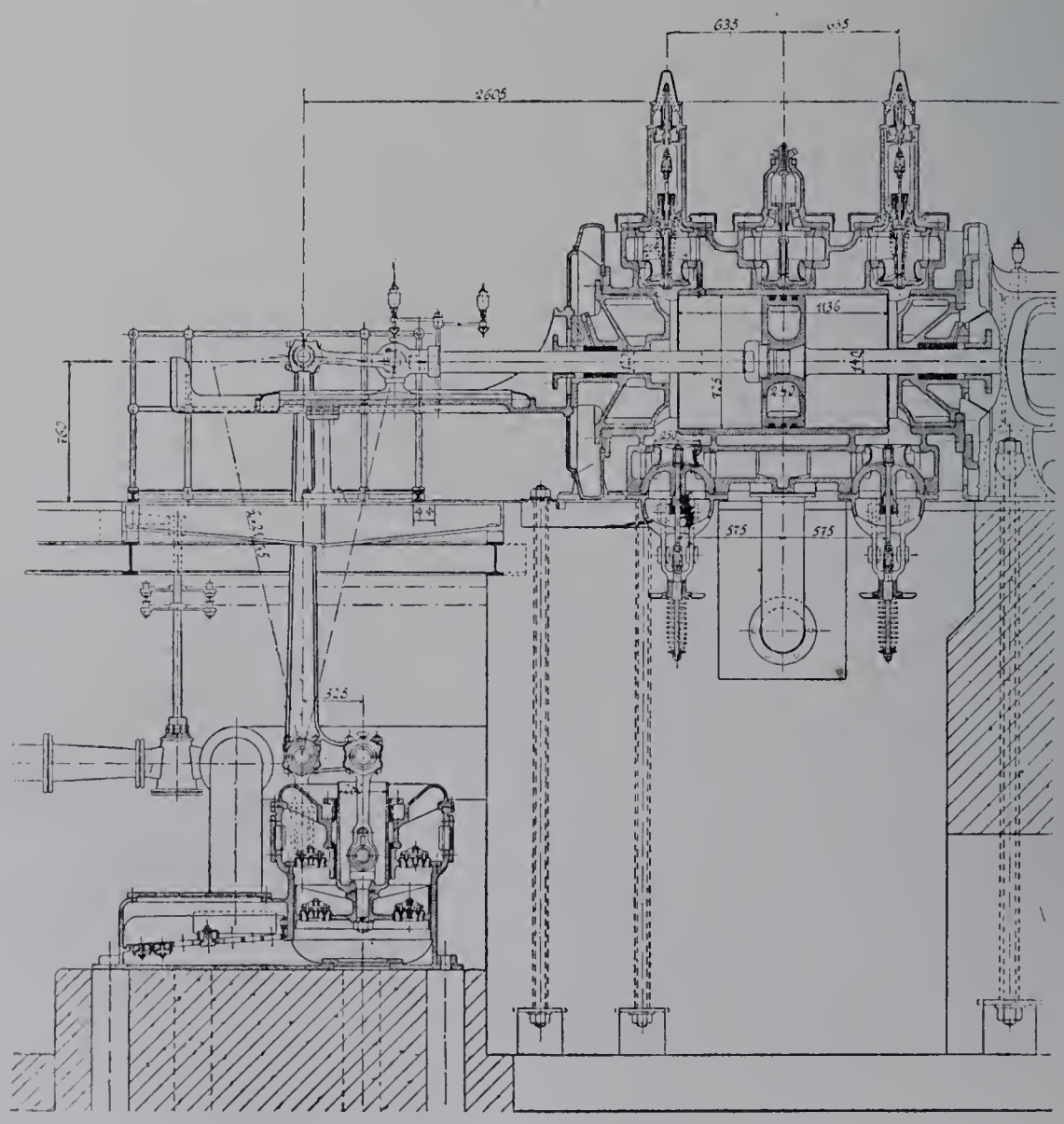


Fig. 380. — Coupe longitudinale du petit cylindre.

permet d'appliquer le système à cette vitesse de 125 tours. Les dispositions générales du mécanisme sont celles déjà décrites à propos de la machine tandem de MM. Biétrix,

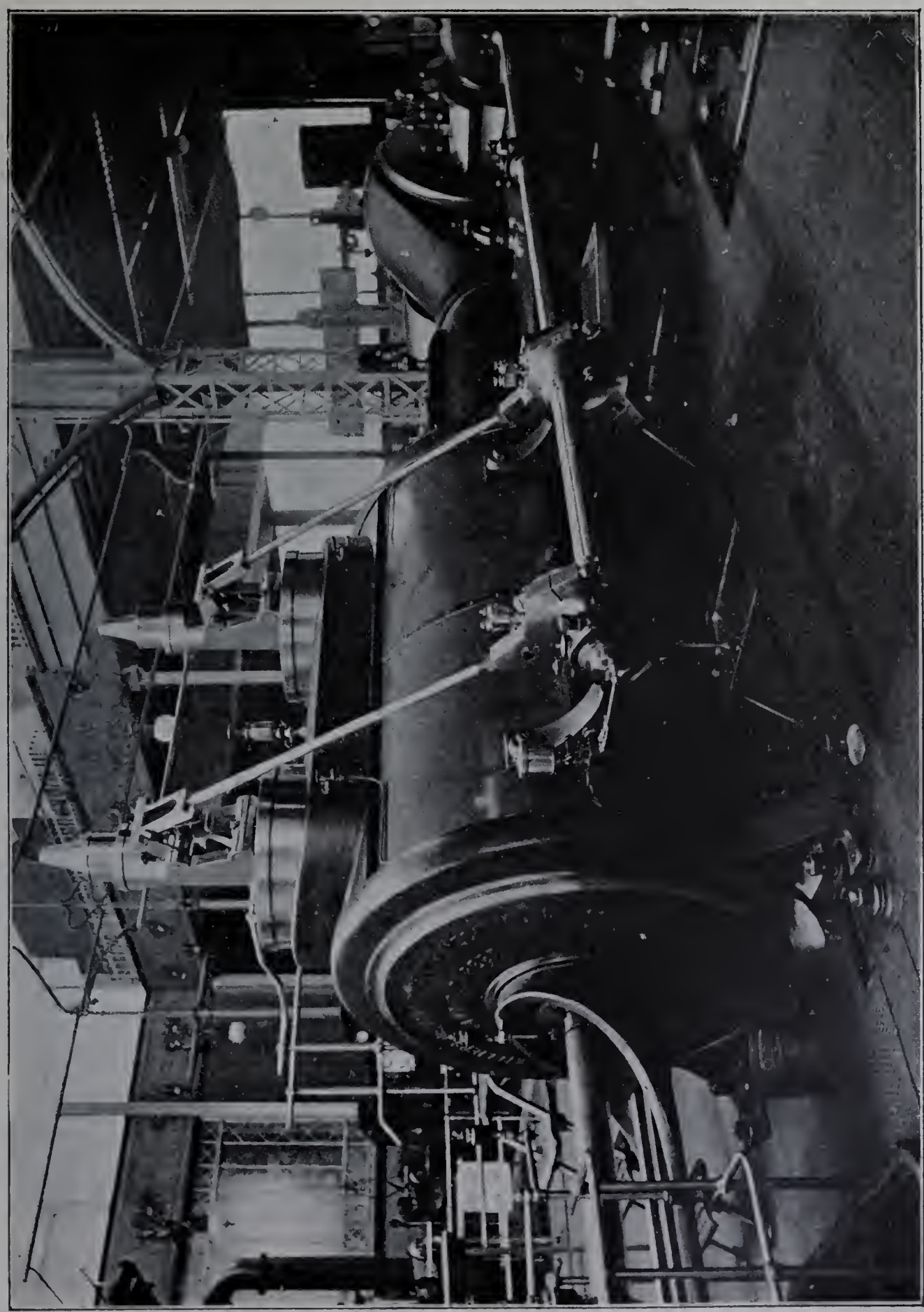


Fig. 381. — Machine L. Lang. — Vue du grand cylindre du côté de l'arbre de distribution.

Leflaive, Nicolet et Cie; il y a ici, bien entendu, deux arbres de distribution, longeant respectivement les deux cylindres et portant chacun quatre excentriques.

Le régulateur à force centrifuge, qui gouverne l'admission au petit cylindre, n'est pas un pendule conique à axe vertical comme dans la machine Biétrix : il est à axe horizontal et directement calé sur l'arbre longitudinal de distribution.

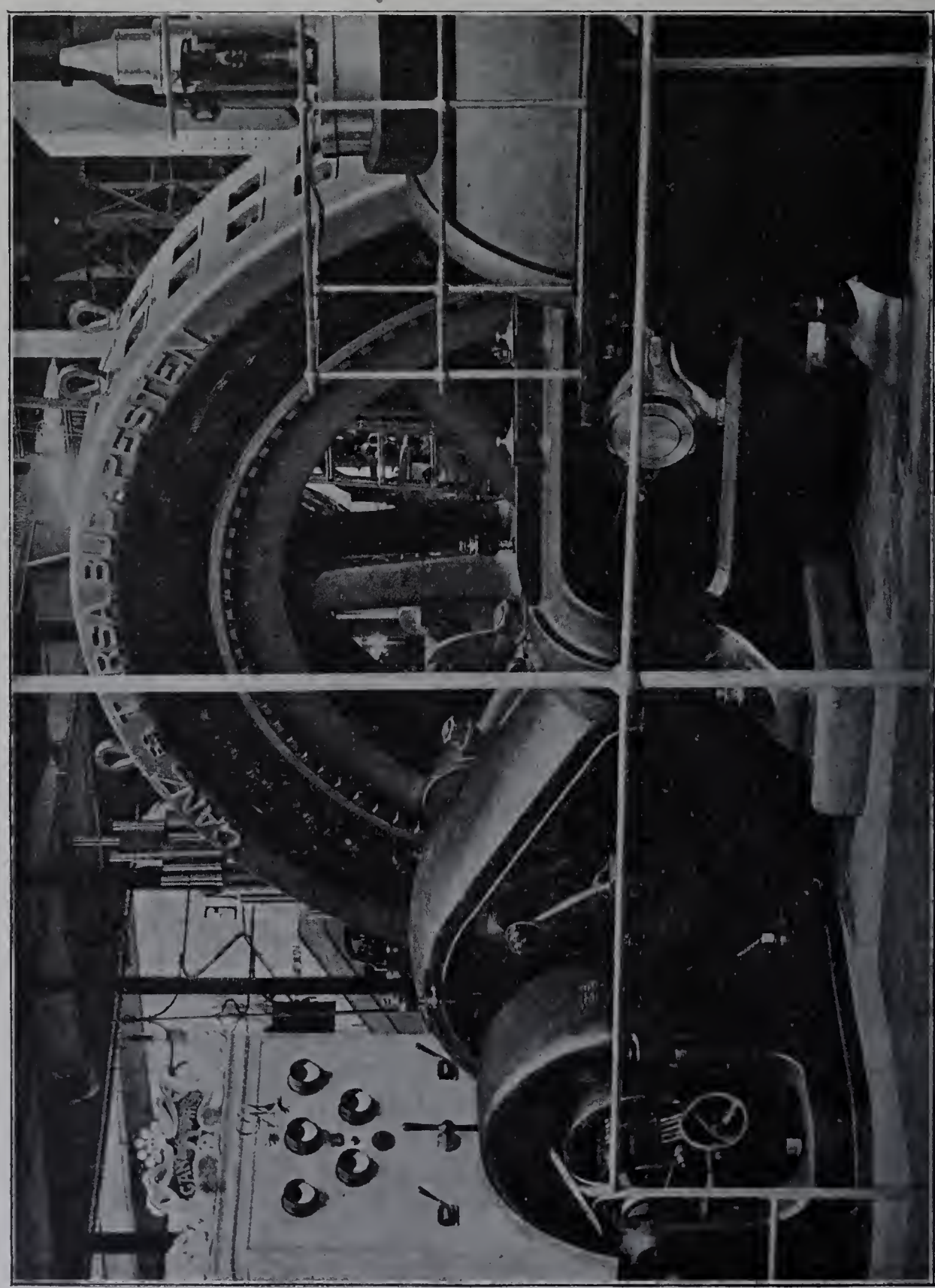


Fig. 382. — Machine L. Lang. — Vue du bâti du grand cylindre.

C'est une grosse boîte tournante, formant un volant très efficace pour éteindre les réactions du mécanisme de distribution, et à l'intérieur de laquelle sont logées deux masses sphériques articulées symétriquement sur des leviers coudés.

Un ressort à boudin axial tend à rapprocher ces masses; en s'écartant sous l'action

de la force centrifuge, elles déplacent le long de l'arbre de distribution une bague extérieure à la boîte.

C'est sur cette bague, par un levier à fourche, que s'articule la transmission aboutissant aux galets de déclenchement. Un dispositif de réglage permettant de modifier la relation entre le travail par tour et la vitesse est interposé sur cette transmission.

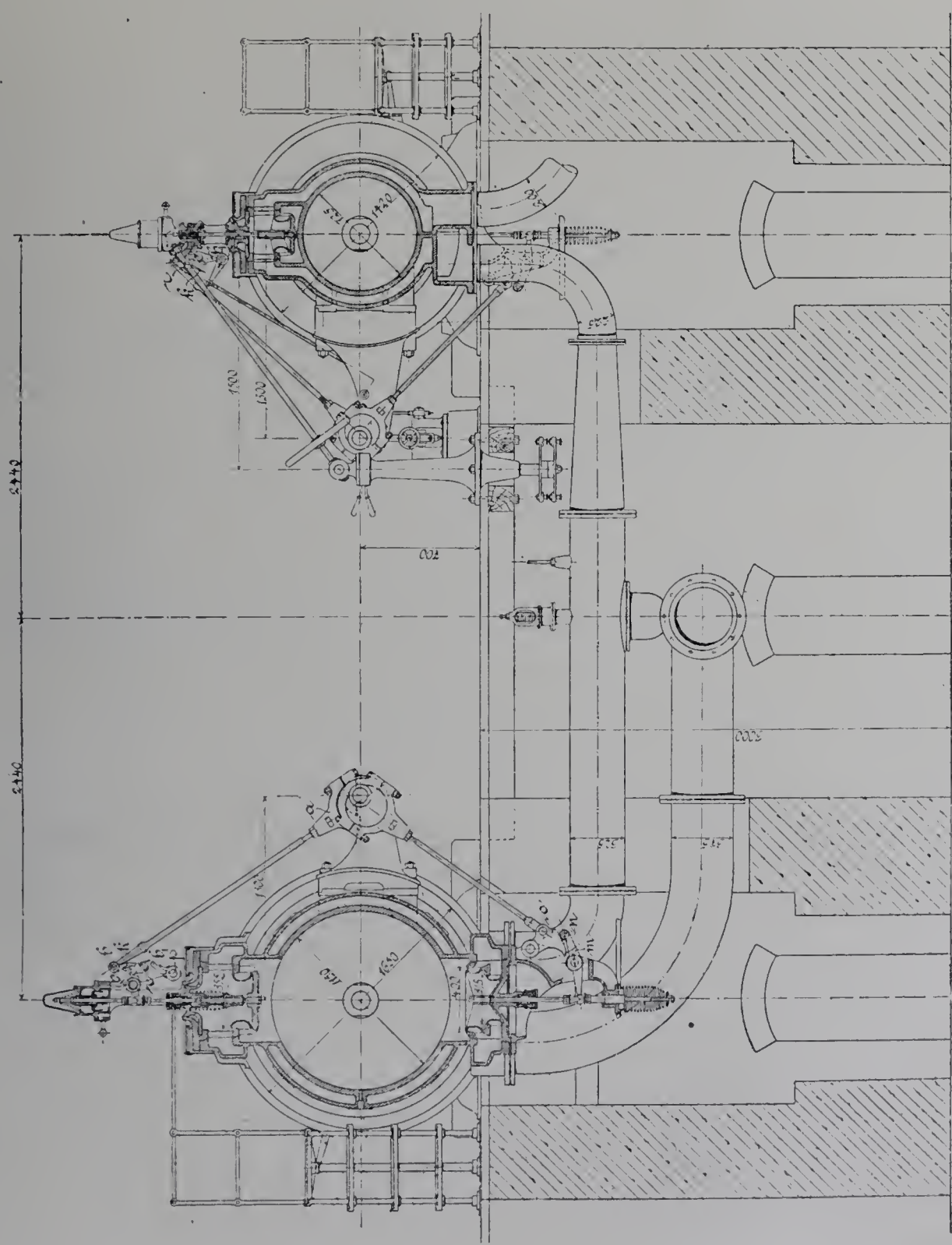


Fig. 383. — Coupe transversale.

« Première Société pour la construction de Machines », de Brünn. — C'est aussi un alternateur Ganz, de mêmes dispositions que dans le cas précédent, de même puissance et tournant à la même vitesse, que conduit le moteur compound de la Première

Société par actions pour la constuction de Machines, de Brünn (Autriche). Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 525 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.72$$
$$D_2 = 0\ 95 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.25$$
$$L = 0\ 90$$
$$N = 126 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 75$$

Alimentée par de la vapeur à 12 kilogrammes par centimètre carré, cette machine a une puissance d'environ 900 chevaux avec une expansion totale de 14, correspondant à une introduction de 22 p. 100 au petit cylindre. La simplicité raffinée de son aspect, jointe à ses dispositions originales et au soin de sa construction, en font un moteur remarquablement intéressant (fig. 387 à 391).

Les cylindres sont écartés de 3 m. 90 d'axe en axe. Le bâti à baïonnette, sur lequel est boulonné chacun d'eux, est venu de fonte avec le palier correspondant et avec une cuvette qui forme la partie inférieure du protecteur en fonte mince entourant la manivelle et recueillant les projections d'huile.

Les manivelles ne sont pas calées à 90 degrés, mais à 120 degrés, celles du grand cylindre en avance sur l'autre : c'est afin de mieux équilibrer les actions sur l'ensemble de la fondation.

Les pistons, du type Ramsbottom et de grande longueur, ont tige et contre-tige. La tige a pour tête une crosse en acier. La contre-tige est supportée derrière le cylindre par une glissière, suivie d'un fourreau fixe formant appareil de protection.

La machine est disposée en vue de l'emploi de vapeur surchauffée, arrivant à 300 ou 320 degrés au petit cylindre. Celui-ci est, en conséquence, sans enveloppe de vapeur; il est simplement contourné, sur un de ses côtés, par le conduit de vapeur montant aux soupapes d'admission. Pour réchauffer le fluide avant son entrée dans le grand cylindre, le type comporte un réservoir intermédiaire tubulaire, susceptible de recevoir une circulation de vapeur vive; ce réchauffage n'est employé, paraît-il, qu'au début du fonctionnement et devient superflu en cours de régime.

La distribution est du système B. Hugo Lentz et W. Voit. Les obturateurs sont des soupapes à double siège que leur mode spécial de fabrication permet d'équilibrer aussi complètement qu'on le désire : la soupape et son siège, ainsi que nous l'avons déjà indiqué (fig. 233), sont fondus ensemble en une seule pièce brute; cette pièce est travaillée, puis incisée circulairement de manière à décoller le clapet du siège; les deux parties sont ainsi rendues mobiles l'une par rapport à l'autre sans pouvoir se séparer complètement. On pourrait ainsi donner rigoureusement le même diamètre aux deux sièges de la soupape.

Une autre disposition qui facilite le mouvement des organes de distribution consiste en ce que les tiges des soupapes n'ont pas de presse-étoupe; elles traversent, sans aucune garniture, des douilles métalliques dans lesquelles elles jouent presque sans

frottement (fig. 389). Pour assurer l'étanchéité, la tige porte simplement une série de rainures transversales, qui s'emplissent d'eau condensée ou d'huile. Pour les soupapes d'admission, la douille se termine à sa partie supérieure par une petite cuvette que l'on

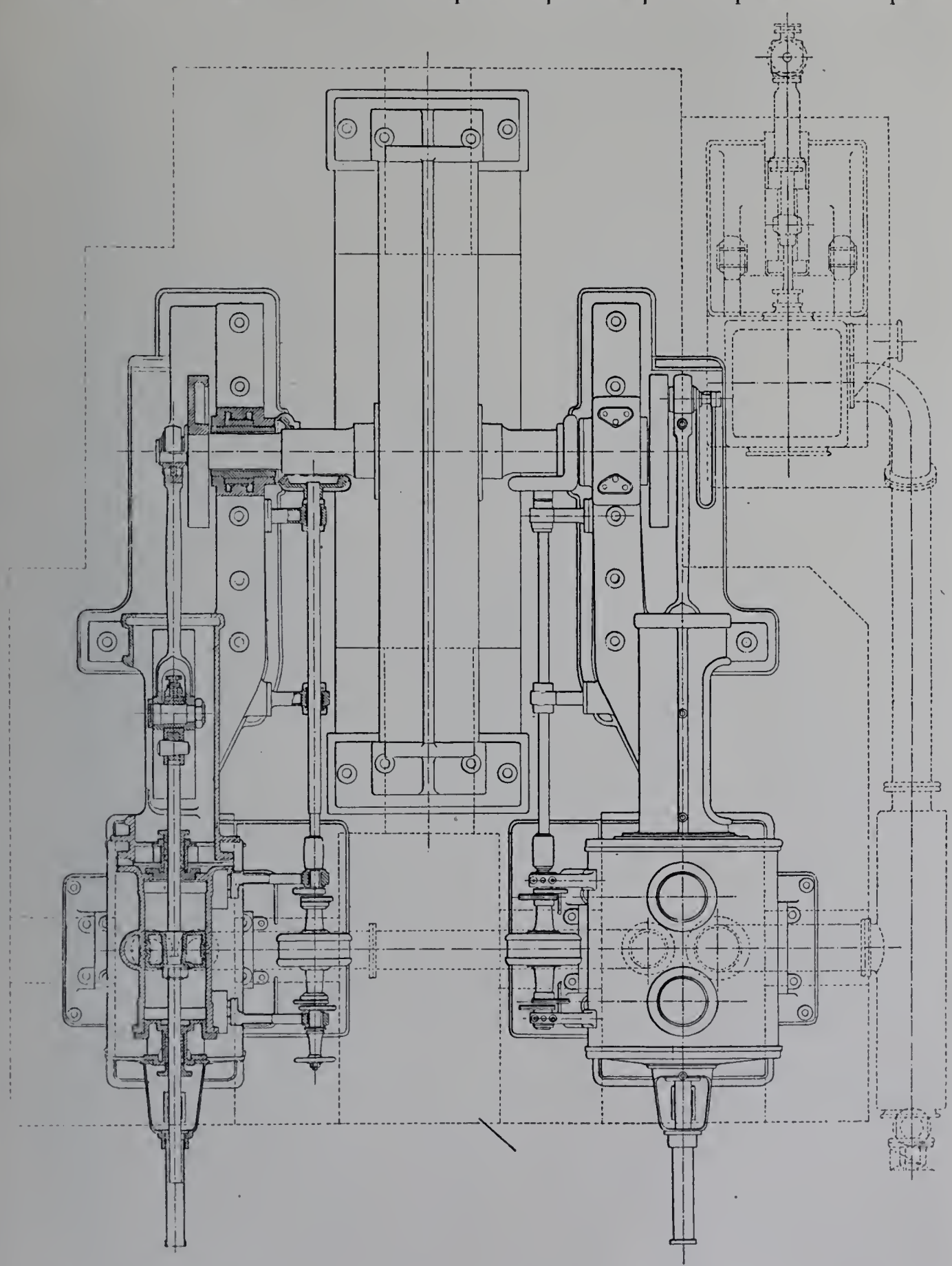


Fig. 384. — Machine de 900 chevaux de la *Première Société de Brünn pour la construction de machines.*

tient constamment garnie d'huile; cette même douille présente, vers le milieu de sa longueur, une chambre creuse dans laquelle l'huile et l'eau de condensation se rassemblent et d'où un petit tuyau d'évacuation les extrait à niveau constant.

IMPRIMERIE NATIONALE.

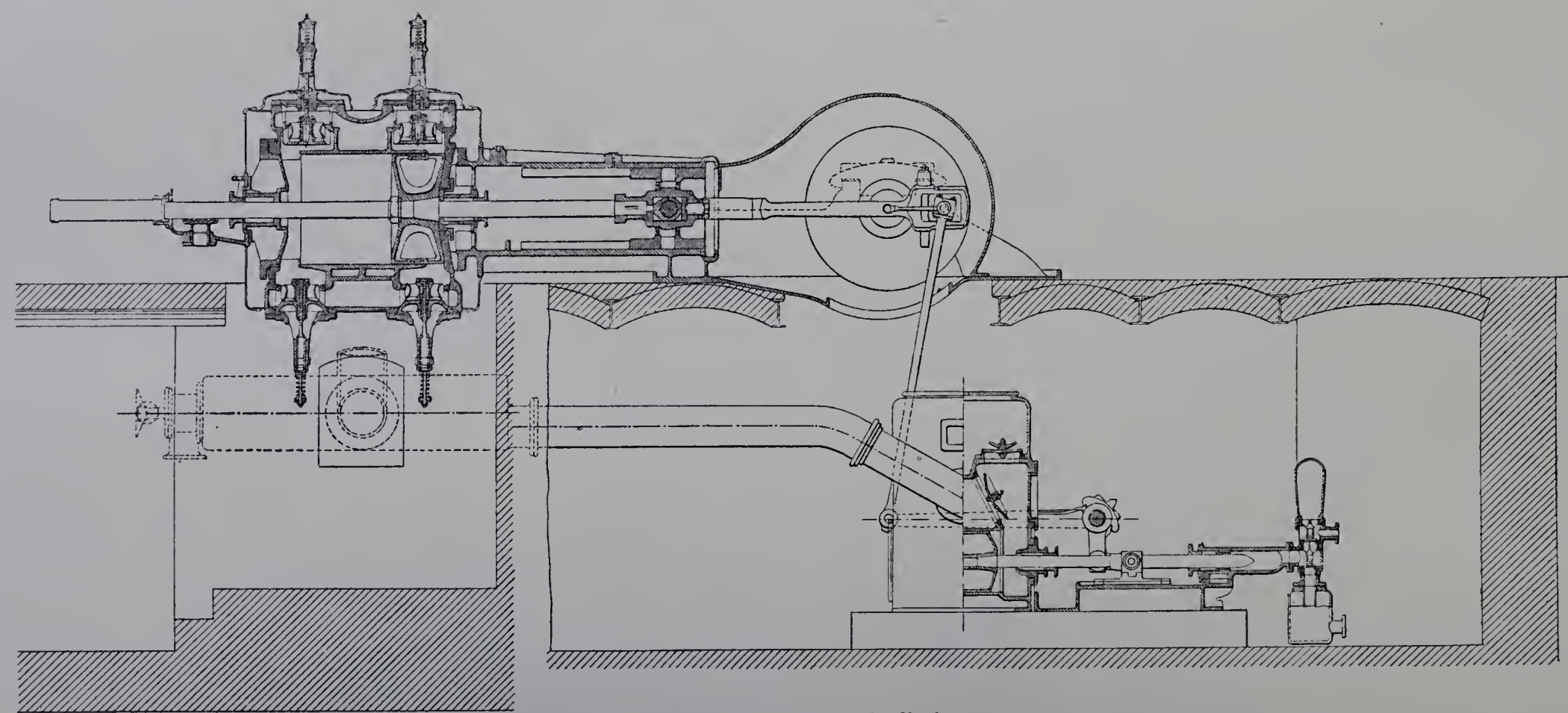


Fig. 385. — Coupe longitudinale.

La machine tourne dans le cas présent à 126 tours par minute; le mécanisme de distribution s'accommoderait d'une vitesse de 200. Il ne comporte aucun déclic : les

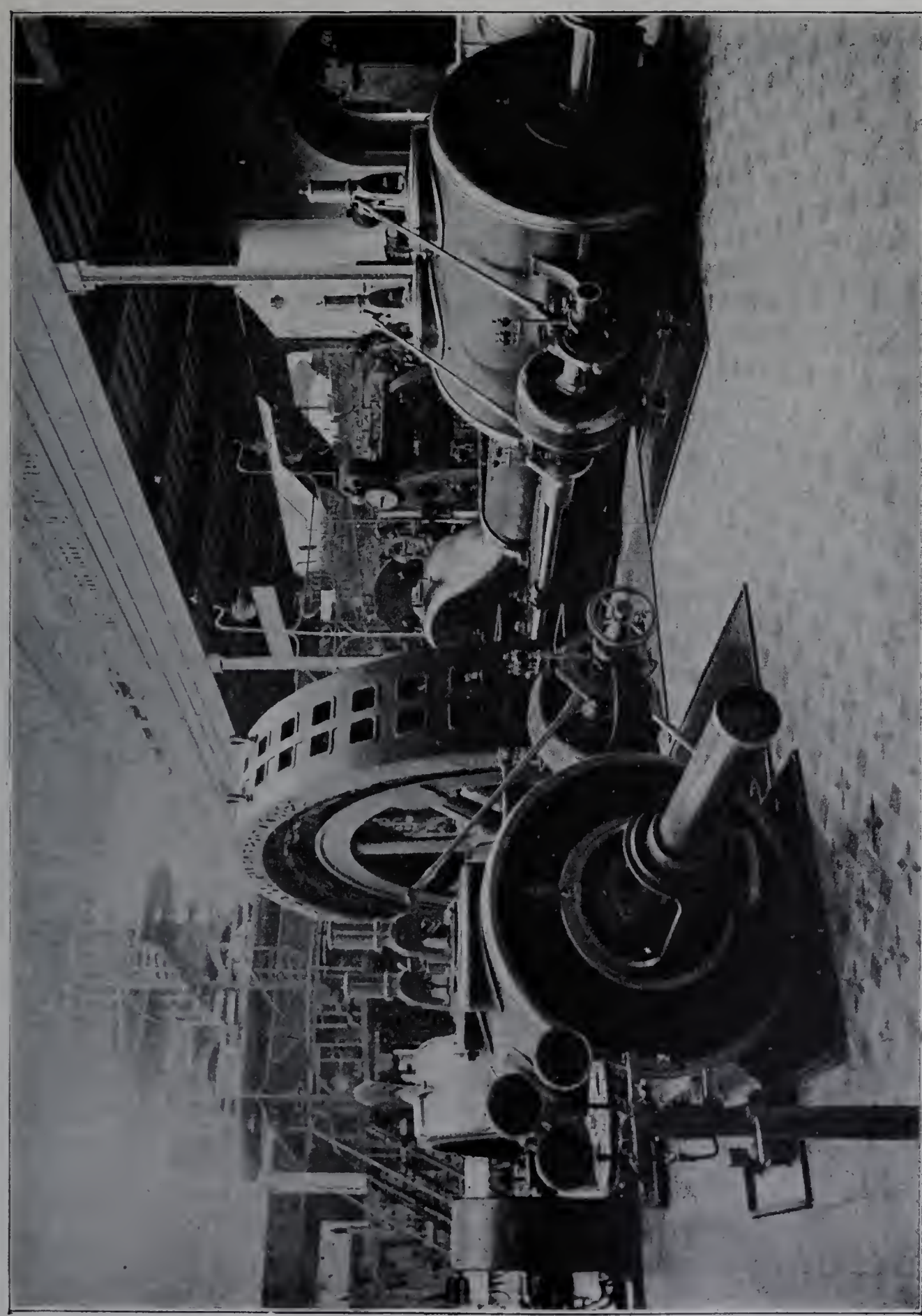


Fig. 386. — Vue de la machine de la *Première Société de Brünn pour la construction de machines.*

soupapes, même celles d'admission du petit cylindre, sont conduites durant tout leur mouvement par des cames, dont la légèreté de ces soupapes facilite l'action. L'arbre de

distribution, disposé le long de chaque cylindre, porte quatre excentriques, un pour chaque soupape. La bielle de chaque excentrique va directement actionner un levier à came, oscillant autour d'un point fixe et sur la surface ondulée duquel s'appuie un galet porté par la tige de soupape. Ce galet est tourillonné dans un cadre intercalé sur la tige et donnant à la came la liberté de jouer sous le galet; le point de roulement ne

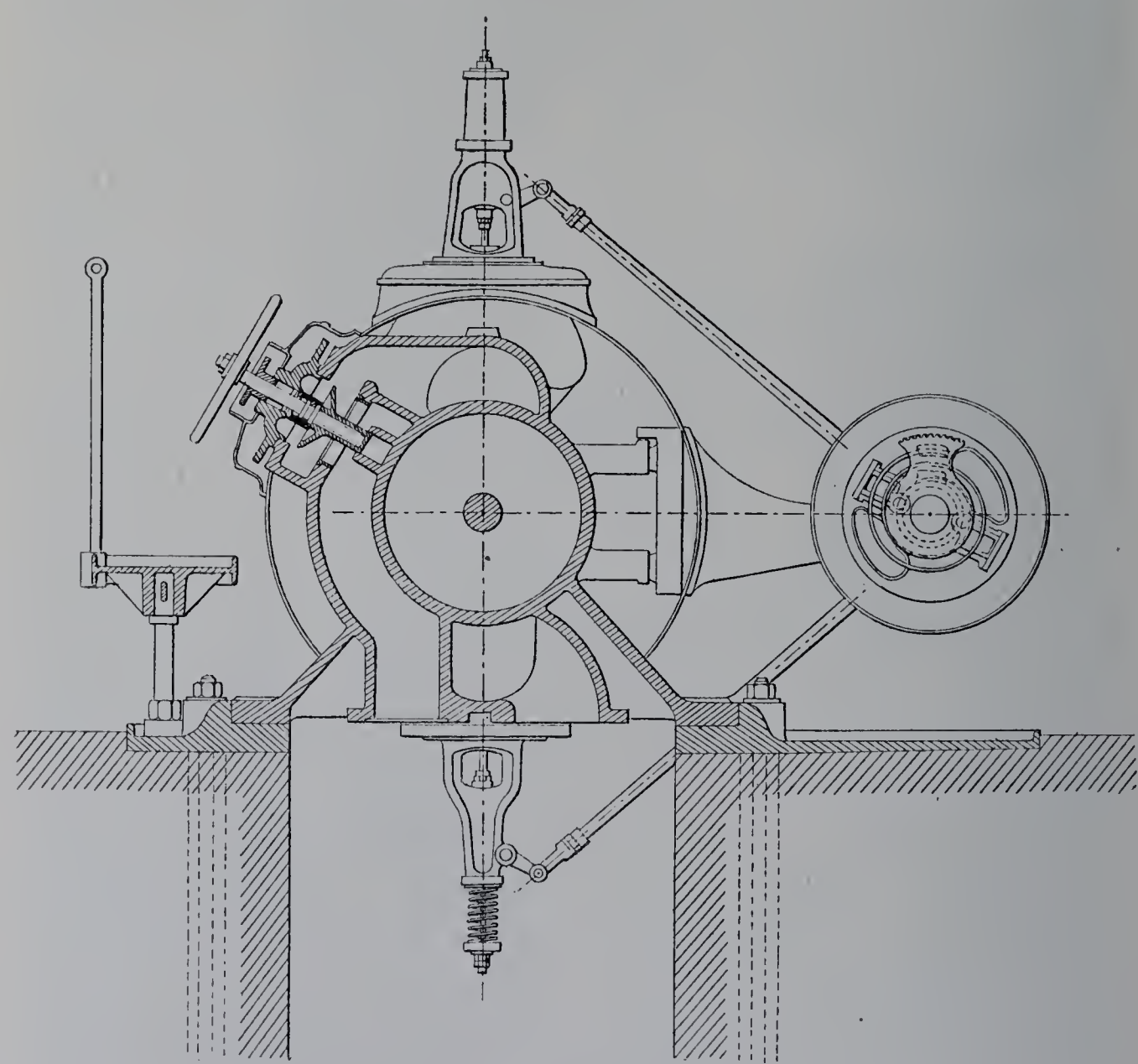


Fig. 387. — Coupe transversale du petit cylindre.

s'écarte jamais sensiblement de la verticale de l'axe de la tige. Le mouvement de celle-ci est d'ailleurs guidé, les côtés haut et bas du cadre formant coulisseau. La came est dessinée en arc de cercle là où il faut que son contact avec le galet laisse la soupape immobile et suivant un profil infléchi là où elle doit produire le soulèvement; à partir d'un certain point la levée du clapet demeure constante.

La loi du mouvement de la soupape dépend, en même temps que du profil de la came, de l'angle de calage et du rayon de l'excentrique. Ces deux éléments sont susceptibles d'une variation placée, au petit cylindre, sous la dépendance du régulateur à axe horizontal installé sur l'arbre longitudinal de la distribution, à mi-distance des deux excentriques qu'il gouverne. Nous avons déjà mentionné ce régulateur, dont les

dispositions sont, comme le reste du mécanisme de distribution, l'œuvre de MM. Hugo Lentz et Voit.

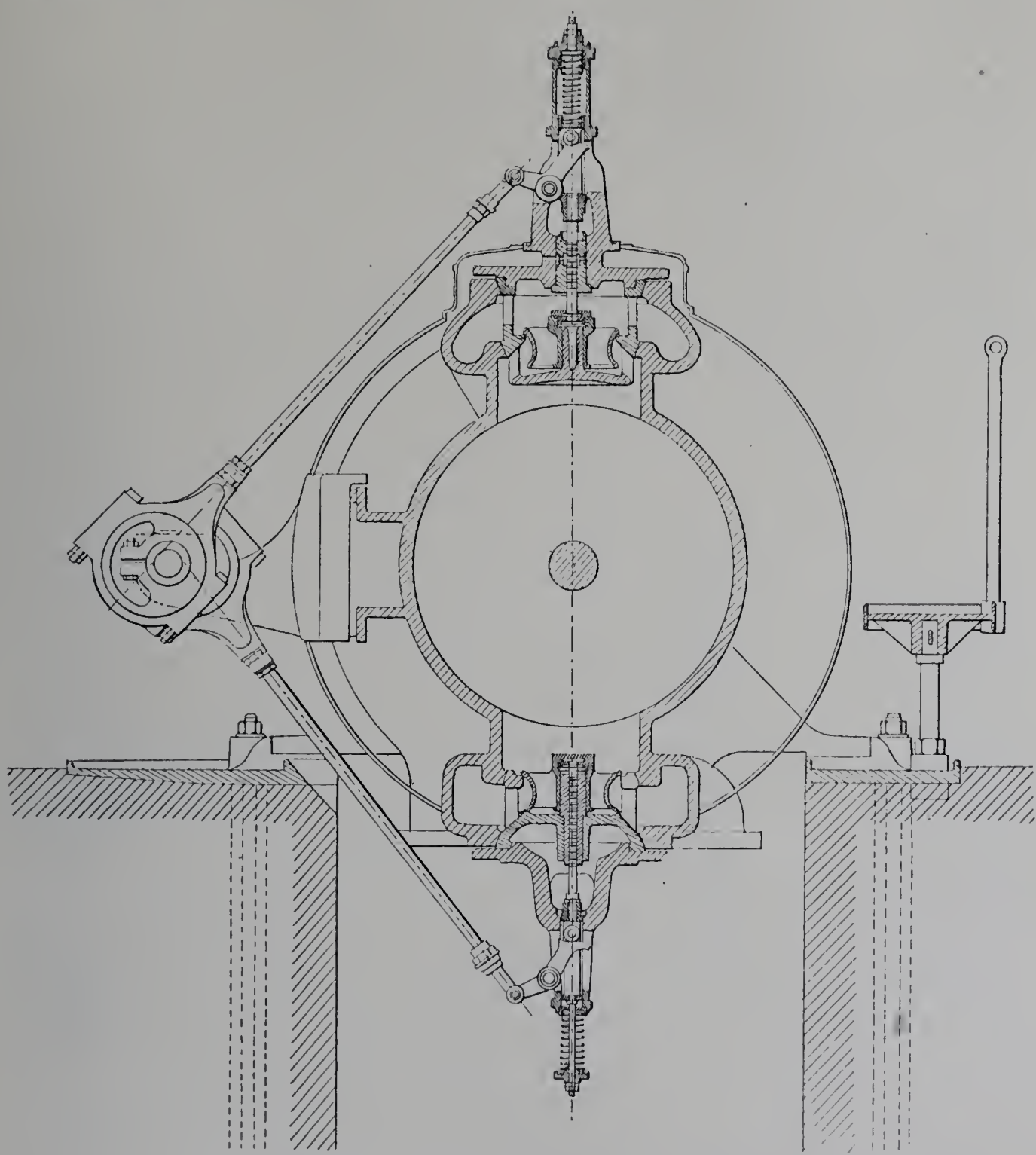


Fig. 388. — Coupe transversale du grand cylindre.

C'est un appareil utilisant à la fois l'inertie tangentielle et la force centrifuge. Il comprend deux volants concentriques, l'un intérieur, invariablement calé sur l'arbre, l'autre extérieur et constitué par la boîte tournante. Ces deux volants sont susceptibles d'un certain déplacement angulaire l'un par rapport à l'autre et c'est ce déplacement relatif qui modifie le calage des deux excentriques d'admission placés de part et d'autre de la boîte. A cet effet, celle-ci se prolonge le long de l'arbre, de chaque côté, par un moyeu en forme de fourreau, aboutissant à un petit plateau circulaire juxtaposé à l'excentrique. De l'autre côté de celui-ci est un second plateau : c'est l'excentrique

d'échappement, invariablement calé sur l'arbre de distribution. Intercalé entre ces deux plateaux, l'excentrique d'admission est une pièce évidée en son centre, que l'arbre de distribution traverse tout en lui laissant une liberté de déplacement, et dont la position se trouve fixée parce que deux de ses points, inégalement distants de son centre, sont, l'un tourillonné sur l'excentrique d'échappement, l'autre relié au plateau terminal du moyeu de la boîte-volant. Si ces deux plateaux tournent d'un certain angle l'un par rapport à l'autre, le centre de l'excentrique ainsi assujetti se rapproche ou s'éloigne de celui de l'arbre, en même temps que son angle de calage augmente ou diminue.

Cela posé, voici quelles sont, en essence, les dipositions intérieures de la boîte tournante. Le déplacement du tambour extérieur par rapport au volant intérieur met en jeu l'élasticité d'un ressort spiral qui tend constamment à les ramener dans une même position relative. D'autre part, la boîte renferme un système sensible à la force centrifuge, constitué par deux masses toujours symétriques l'une de l'autre, mais susceptibles de s'écarter ou de se rapprocher de l'axe par un mouvement de bascule, chacune d'elles formant la tête d'un levier articulé sur un point excentrique de l'un des volants. La queue de ce même levier prend appui, par l'intermédiaire d'une biellette, sur un point excentrique de l'autre volant; de telle sorte que la position relative des deux volants se trouve liée à l'écartement des deux masses. Quand le ressort spiral est libre d'agir, il pousse la boîte extérieure en avant (dans le sens de la rotation de l'arbre) par rapport au volant intérieur; les masses sont alors voisines de l'axe et l'admission maximum. A mesure que les masses s'écartent, elles tirent la boîte en arrière et réduisent l'admission.

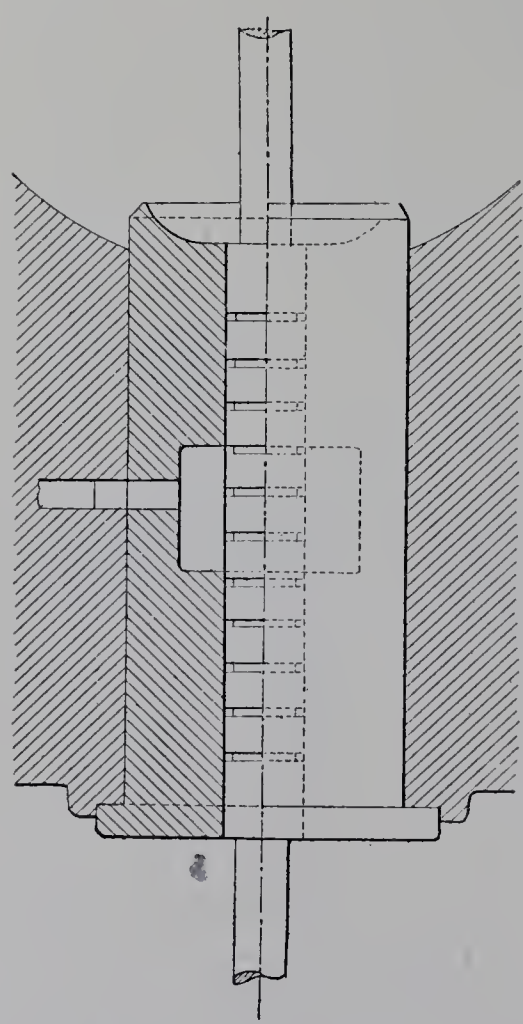


Fig. 389. — Tige de soupape sans presse-étoupe.

Supposons qu'à partir d'un régime d'équilibre entre la force centrifuge et le ressort, la charge de l'alternateur vienne à baisser. La machine accélère sa rotation. Tandis que le volant intérieur participe à l'accélération, la boîte commence par conserver la vitesse initiale à raison de son inertie; elle prend donc instantanément un retard par rapport au volant intérieur. L'admission de vapeur est diminuée; en même temps, les masses s'écartent; l'équilibre se rétablit entre la force centrifuge un peu accrue et le ressort un peu plus tendu, pour une vitesse très légèrement supérieure à la vitesse primitive.

Un système de réglage, permettant de modifier la tension du ressort et, par suite, de ramener exactement la vitesse à sa valeur initiale pour une charge différente, est d'ail-

leurs disposé dans l'axe et manœuvrable en cours de service au moyen d'un volant à main placé au bout de l'arbre de distribution.

Il va sans dire que ce régulateur sert tout naturellement de volant pour éteindre les réactions des excentriques sur l'arbre de distribution.

Du côté du grand cylindre, la détente est fixe; un tambour analogue au régulateur par son aspect extérieur, mais qui n'est qu'un simple volant, est chargé de ce même office

Machine de 600 chevaux de MM. Stork. — Avec MM. Stork frères et Cie, de Hengelo (Pays-Bas), on est en plein mouvement des idées favorables à la surchauffe. Ils exposent une machine compound à manivelles croisées (fig. 390 à 398), portant côte à côte sur son arbre, entre les deux paliers, un volant de 5 mètres de diamètre, pesant 13 tonnes, et l'induit d'une dynamo à courant continu de 350 kilowatts, construite par l'ancienne maison Wilhelm Smit, de Slikkerveer. Les données générales sont les suivantes :

$$D_1 = 0^m 53 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.9$$
$$D_2 = 0\ 875 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.73$$
$$L = 1\ 00 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 67$$
$$N = 110$$

L'admission normale de 15 p. 100 au petit cylindre, correspondant à une expansion totale de 17, donne avec une pression initiale de 10 kilogrammes par centimètre carré une puissance indiquée d'environ 550 ou 600 chevaux.

La machine est faite pour être alimentée de vapeur surchauffée, fournie à 400 degrés par un surchauffeur Schmidt; nous avons vu que MM. Stork sont constructeurs de cet appareil, qu'ils exposent non loin du moteur.

Mais on n'introduit pas sans précaution dans le cylindre un fluide dont la température pourrait être excessive, surtout aux grandes introductions. Des dispositions sont prises pour atténuer la surchauffe et la régler. A cet effet, une partie de la vapeur surchauffée est employée à un chauffage, puis se joint à une certaine proportion de fluide resté à l'état initial : c'est le mélange ainsi produit qui est envoyé aux soupapes de distribution du petit cylindre.

Le chauffage est celui du réservoir intermédiaire. Cet appareil est constitué par un cylindre en fonte de 0 m. 63 de diamètre et 2 m. 7 de longueur, terminé à l'un de ses bouts par une calotte hémisphérique, à l'autre par une plaque tubulaire. La moitié supérieure de celle-ci forme plaque de départ, et la moitié inférieure plaque de retour, pour un faisceau de 76 tubes en U, qui parcourent chacun deux fois toute la longueur du cylindre. C'est dans ce faisceau que passe la vapeur surchauffée à refroidir, tandis que la vapeur d'échappement du petit cylindre, se rendant au grand sous une pression d'environ 2 kilogr. 5 par centimètre carré, pénètre dans le réservoir à sa partie

inférieure, près de la plaque tubulaire, et, canalisée par une cloison diamétrale, en ressort par le haut après avoir cheminé le long des tubes dans le sens d'un échauffement méthodique et avoir pris une certaine surchauffe.

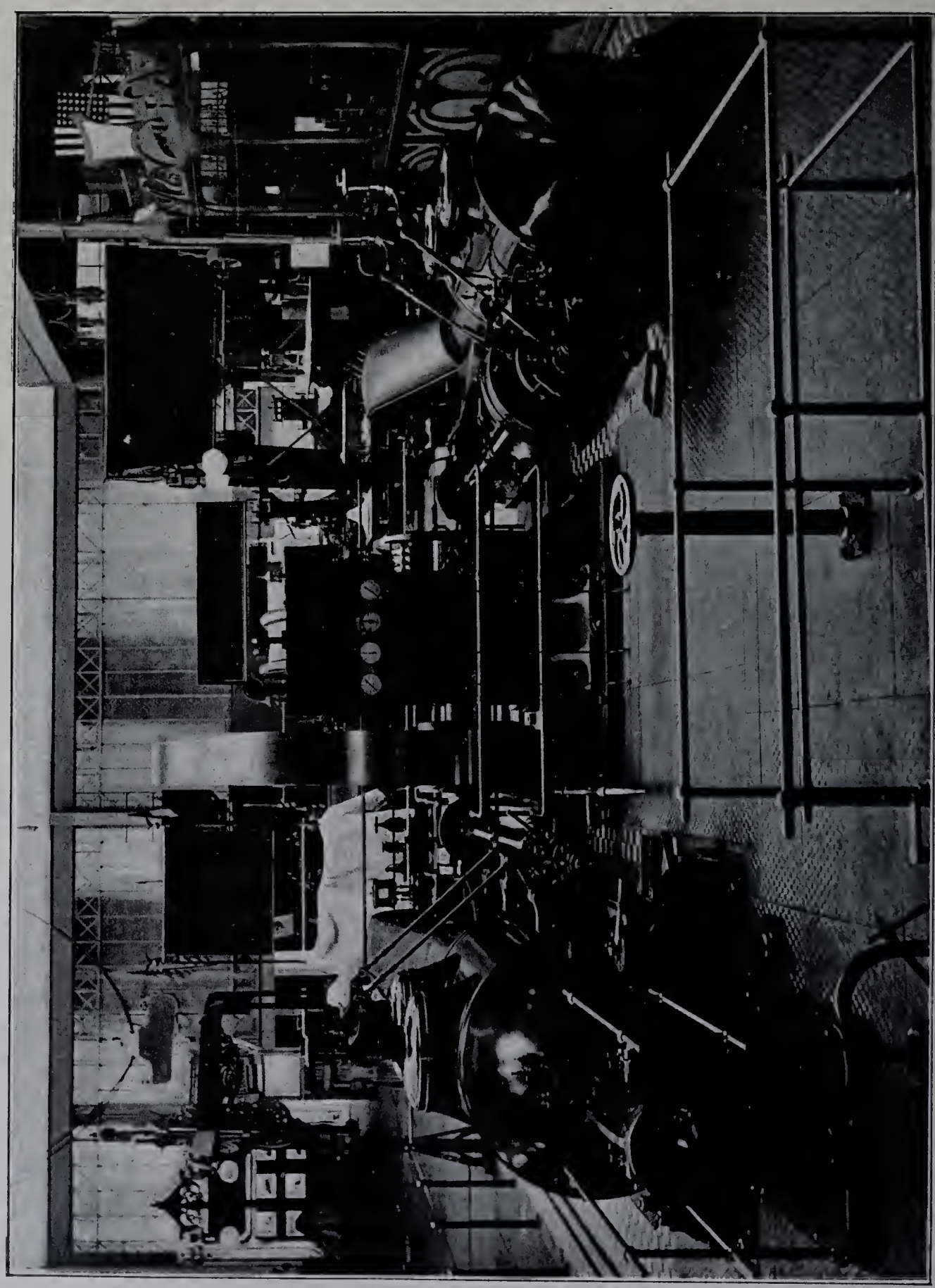


Fig. 390. — Machine de MM. Stork frères. — Vue d'ensemble.

La chaleur enlevée à la vapeur surchauffée se trouve donc récupérée sans autre perte que le rayonnement du réservoir intermédiaire.

Fig. 391. — Machine de MM. Stork. — Plan.

Fig. 392. — Coupe transversale.

Fig. 393. — Élévation transversale.

Fig. 394. — Élévation longitudinale.

A sa sortie du faisceau des tubes en U, la vapeur *désurchauffée* est asséchée par un purgeur.

La dérivation de la vapeur surchauffée dans les tubes en U doit varier dans le même sens que l'introduction au petit cylindre. Plus celle-ci est courte, plus on peut y employer de la vapeur à haute température sans craindre que le cylindre s'échauffe exagérément.

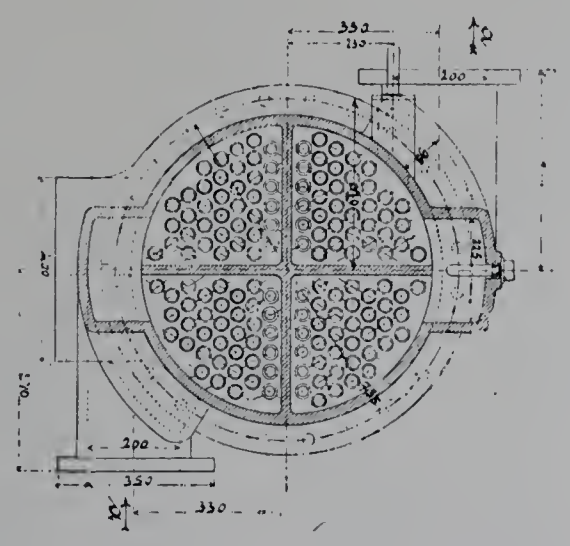


Fig. 395. — Réservoir intermédiaire. — Coupe transversale.

C'est surtout aux longues admissions qu'il faut se garder d'un échauffement excessif et qu'il convient de mettre en réserve une partie de la chaleur pour ne la rendre au fluide que lors de son passage du premier cylindre au second. La valve d'admission de la vapeur surchauffée au faisceau tubulaire peut être, soit manœuvrée à la main, soit placée sous la dépendance du régulateur.

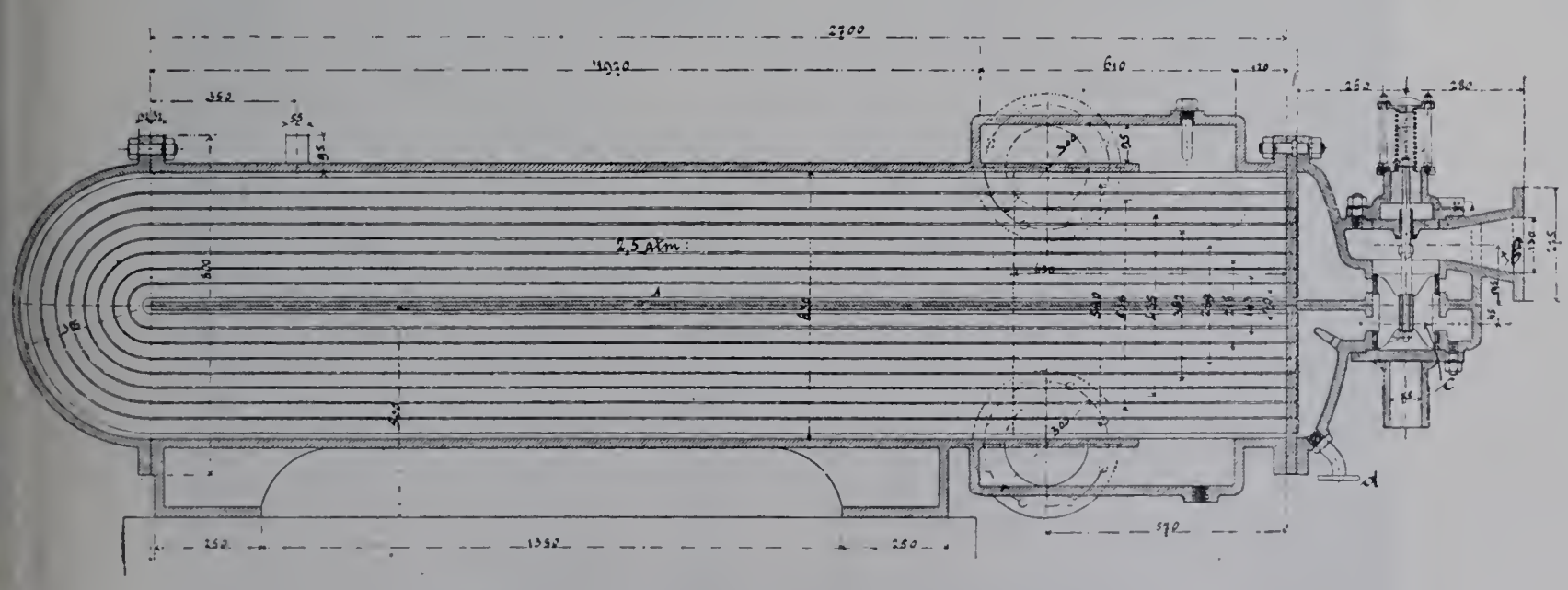


Fig. 396. — Coupe longitudinale du réservoir intermédiaire.

Aucun des deux cylindres n'a d'enveloppe de vapeur. La tuyauterie est raccordée aux soupapes d'admission par un conduit venu de fonte avec le cylindre, mais ne le touchant pas, afin d'éviter les dilatations inégales.

Il est à peine besoin de dire que les presse-étoupe ont des garnitures métalliques d'un système approprié à la haute température de la vapeur.

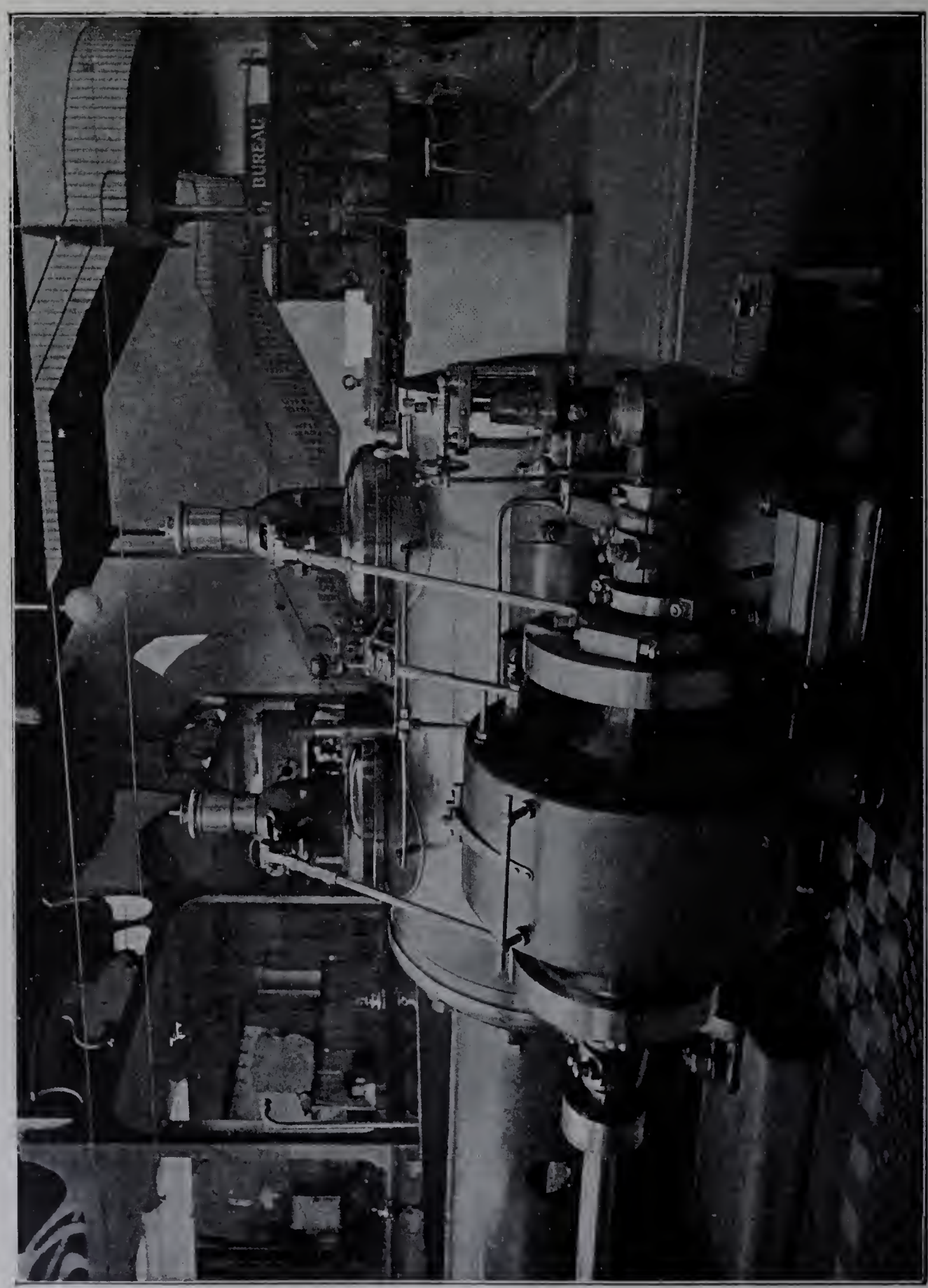


Fig. 397. — Machine Stork. — Vue du petit cylindre et du régulateur.

Chaque garniture se compose d'une suite alternée de bagues élastiques en fonte spéciale, les unes formant segments et serrant la tige, les autres à gorge et contenant de l'amiante qui se trouve serrée contre la boîte.

La distribution est faite au moyen de soupapes du système Kaufmann, à leviers roulants renversés. Il n'y a nulle part de déclic.

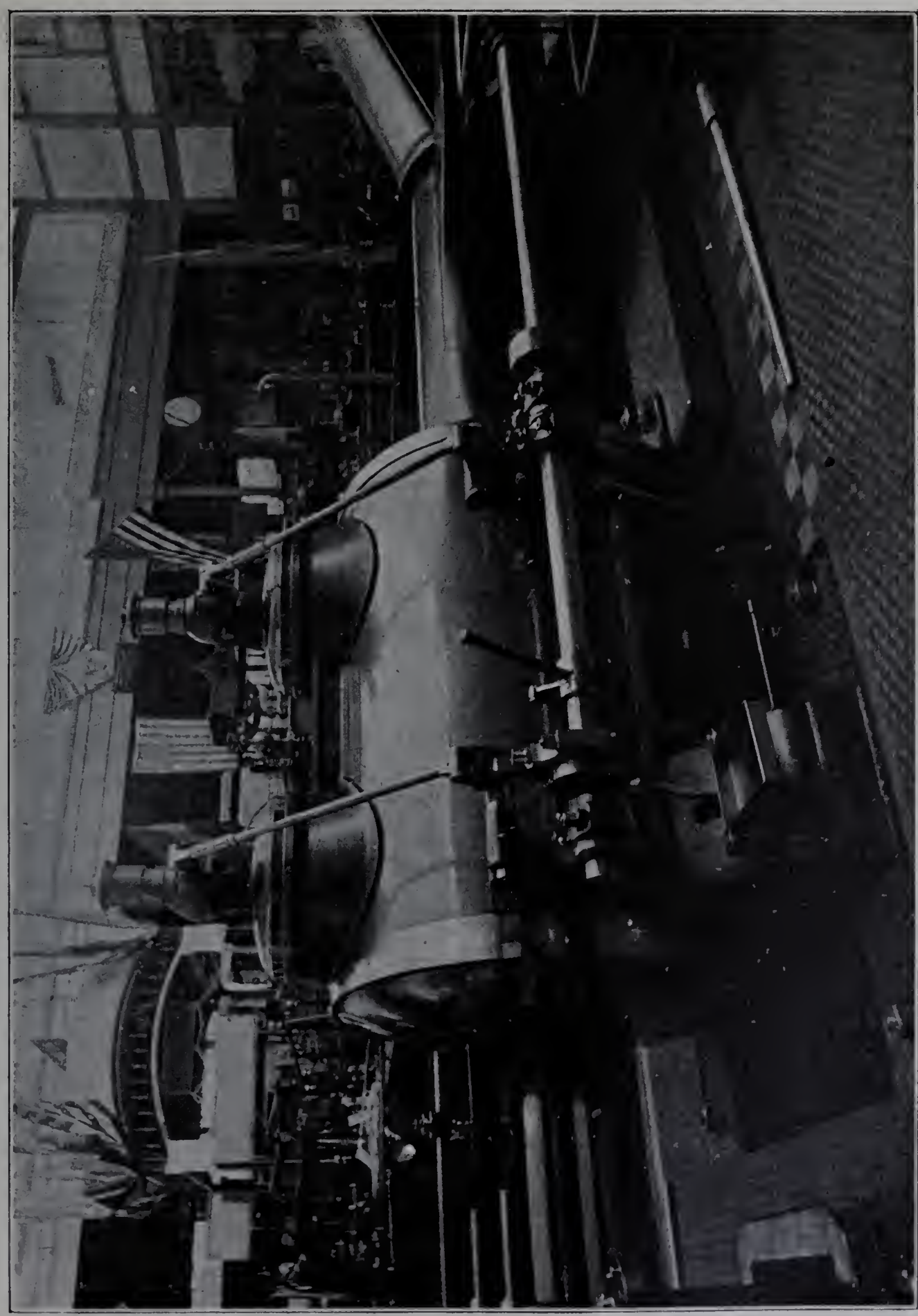


Fig. 398. — Machine Stork. — Vue du grand cylindre.

L'arbre de distribution du petit cylindre porte quatre excentriques, dont les bielles vont directement attaquer les tables oscillantes qui, par un point de contact variable,

soulèvent sur elles les leviers des soupapes. Le règlement des excentriques d'admission est placé sous la dépendance d'un régulateur Proell-Doerfel directement calé sur l'arbre

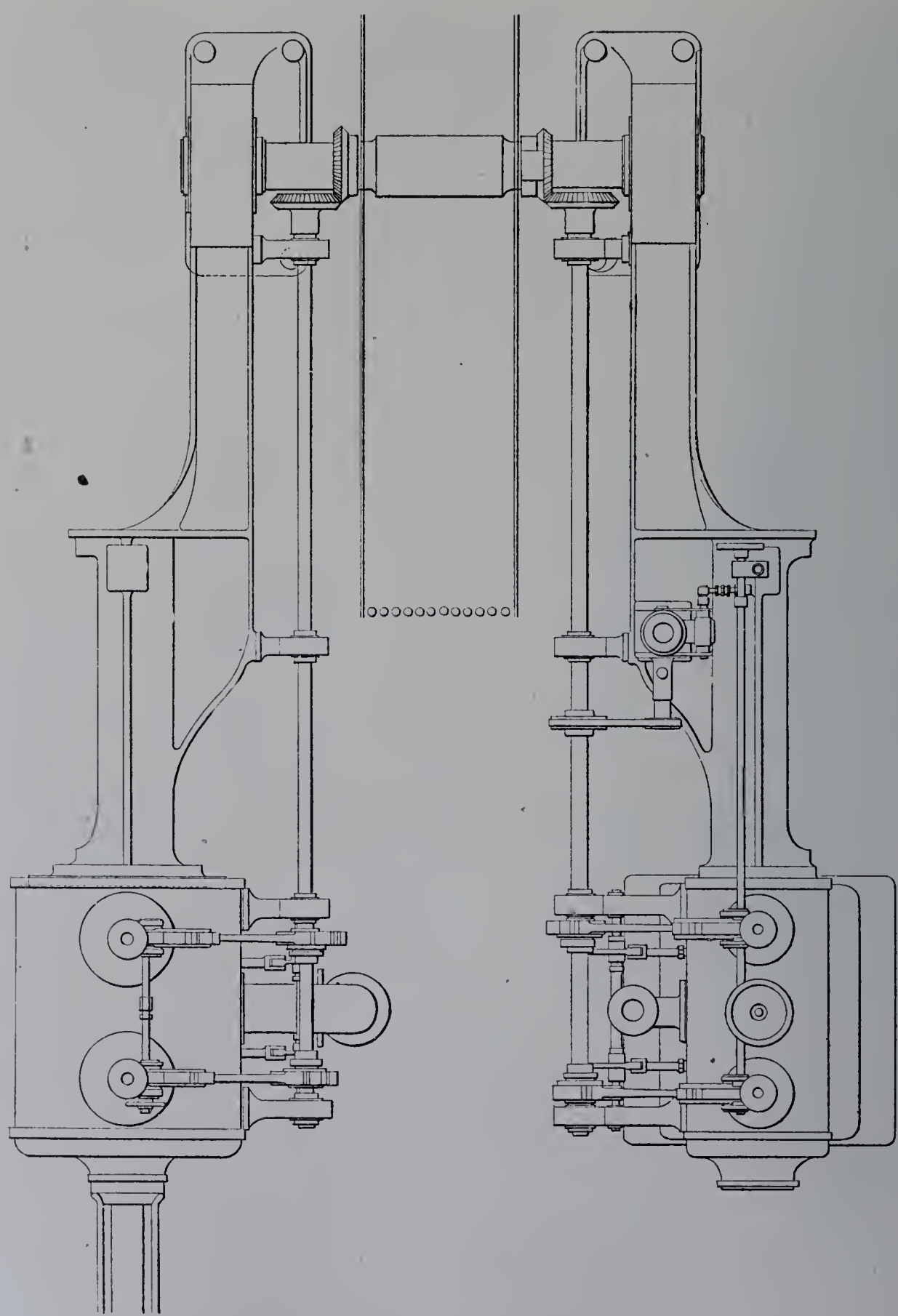


Fig. 399. — Machine *cross-compound* de MM. Marshall fils et Cie. — Plan.

de distribution, à mi-longueur du cylindre, et pouvant faire varier l'admission de zéro à 60 p. 100. Au grand cylindre, la distribution dépend de deux excentriques à calage variable, dont le règlement peut être modifié à la main sur la machine au repos.

Machines diverses. — Dans la section belge, M. Preud'homme-Prion, de Huy, expose une machine horizontale de 200 chevaux, du type compound à cylindres parallèles, ayant pour données :

$$D_1 = 0^m\,40 \qquad \frac{L}{D_1} = 2$$

$$D_2 = 0\;\;675 \qquad \frac{D_2^2}{D_2^1} = 2.8$$

$$L = 0\;\;80$$

$$N = 125 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m\,33$$

L'arbre est en acier au nickel. Les bâtis sont à baïonnette, fortement reliés aux fondations.

Les cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur : vapeur vive autour du petit cylindre, vapeur du réservoir intermédiaire autour du grand.

La distribution, donnée par des soupapes à leviers roulants, est du système Radovanovicz.

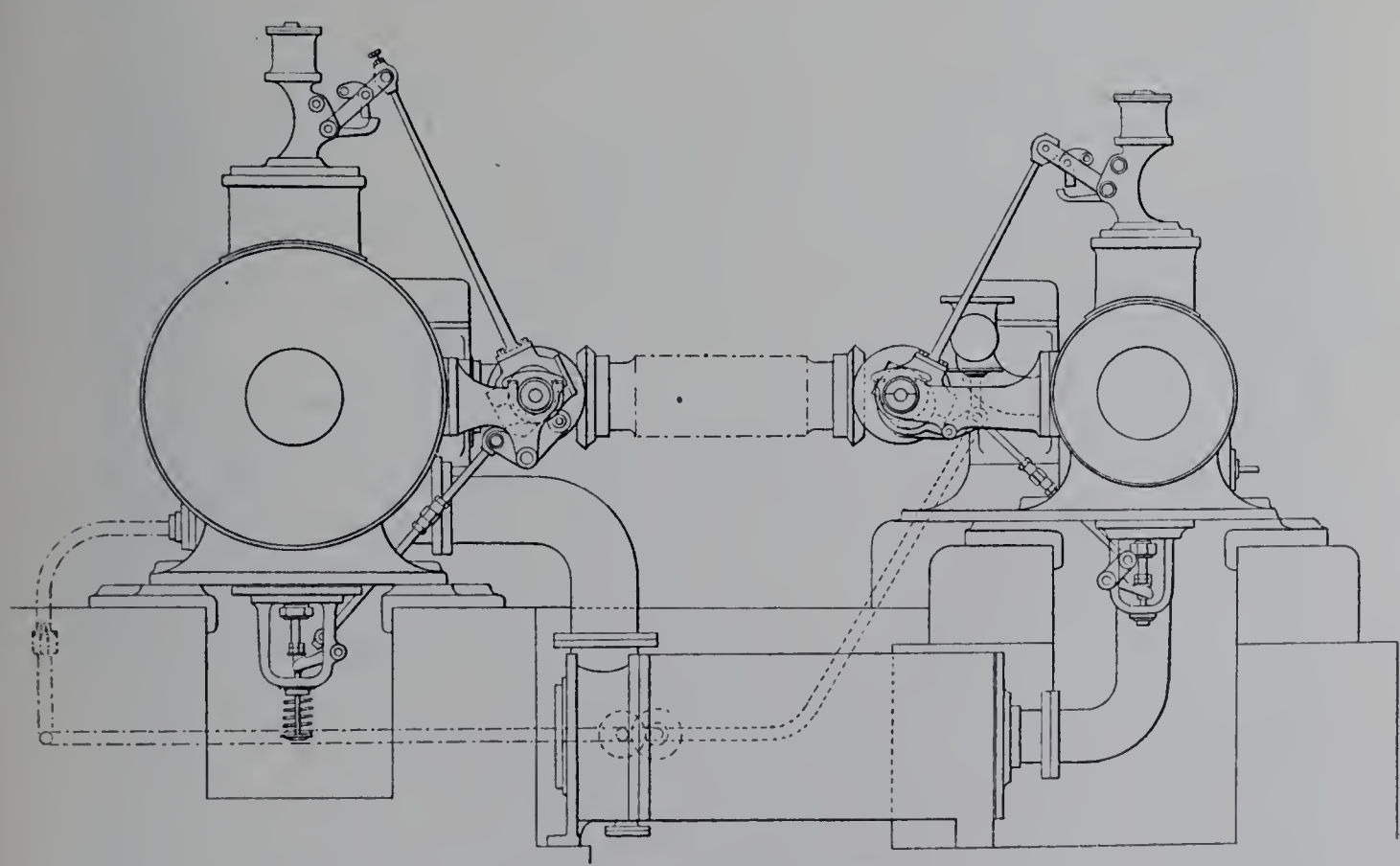


Fig. 400. — Élévation transversale.

L'admission au petit cylindre peut varier de zéro à 70 p. 100 sous l'action du régulateur; au grand cylindre, elle est réglable à la main.

Signalons encore, comme machine *cross-compound* avec distribution par soupapes, celle exposée dans la section anglaise par MM. Marshall fils et Cie, de Gainsborough (fig. 399 à 401).

C. F. E.

Sa puissance est de 150 à 200 chevaux. Les cylindres sont à longue course, comme le montre le tableau ci-après des dimensions :

$D_1 = 0^m 305$	$\frac{L}{D_1} = 2.2$
$D_2 = 0\ 534$	$\frac{D_2^2}{D_2^1} = 3$
$L = 0\ 661$	
$N = 116$	$\frac{2LN}{60} = 2^m 56$

La commande des soupapes d'admission est à déclic aux deux cylindres; le mouvement, pris sur un excentrique E (fig. 401), est transmis au levier de soupape B par l'intermédiaire d'une pièce basculante C F en forme de levier coudé, dont la tête C porte la plaquette entraîneuse; le déclenchement se produit lorsque la queue F de cette pièce vient rencontrer un butoir G.

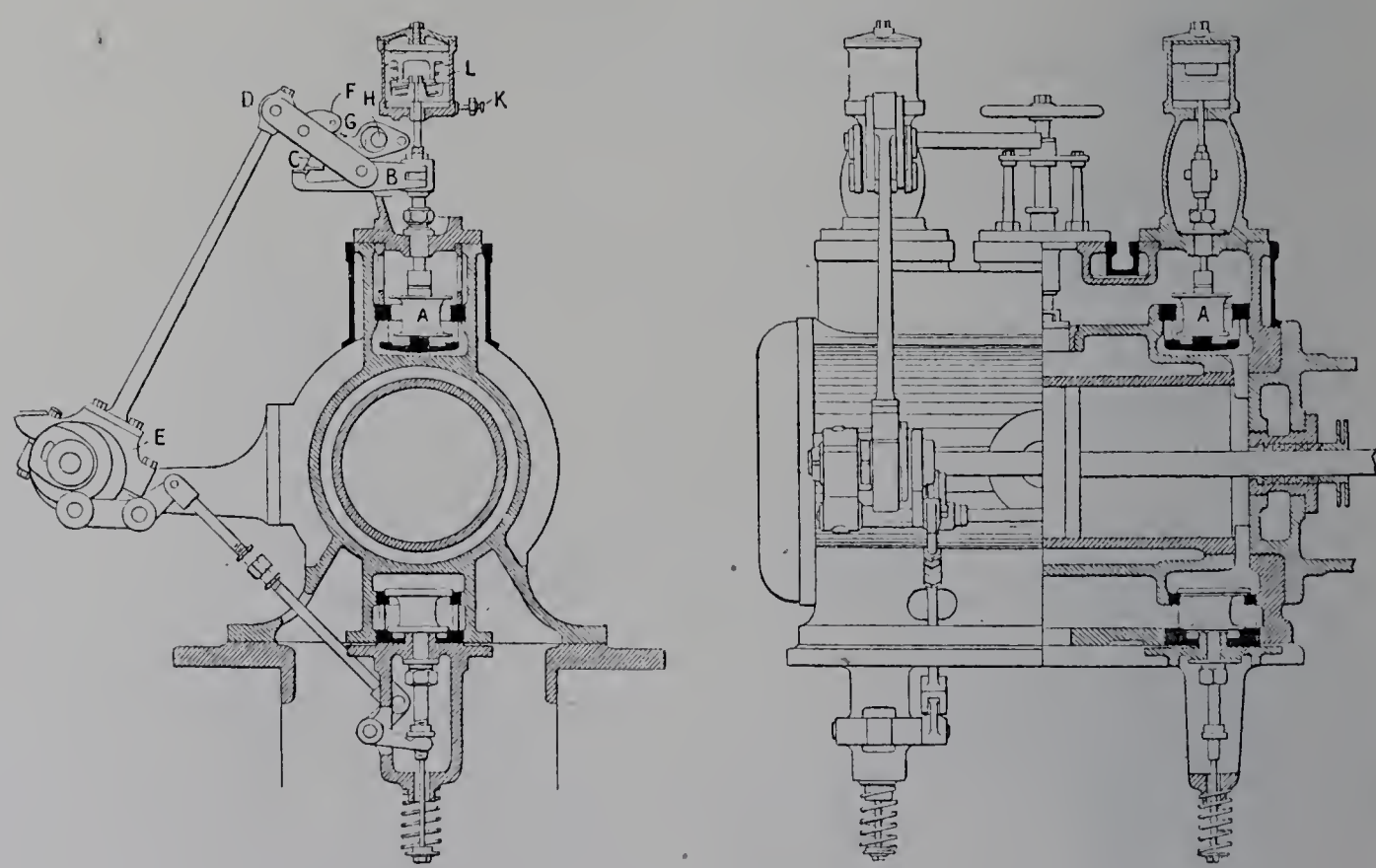


Fig. 401. — Coupes du petit cylindre.

Au petit cylindre, la position de ce butoir dépend de l'orientation d'un excentrique H, monté sur une tige placée sous la dépendance du régulateur. Celui-ci est un appareil à force centrifuge et à ressort axial, avec dispositif permettant de réduire ou d'augmenter la vitesse de 5 p. 100 pendant la marche.

Distribution Corliss. — Passons aux moteurs compound à cylindres parallèles ayant, pour organes distributeurs, des tiroirs Corliss. Nous trouvons dans cette catégorie de puissantes et belles machines, établies suivant des dispositions classiques, ce qui n'exclut ni le mérite du système, ni la valeur des perfectionnements de détail.

Crépelle et Garand. — Les successeurs actuels de Le Gavrian, MM. Crépelle et Garand, de Lille, sont bien qualifiés par le passé de leur maison pour représenter la

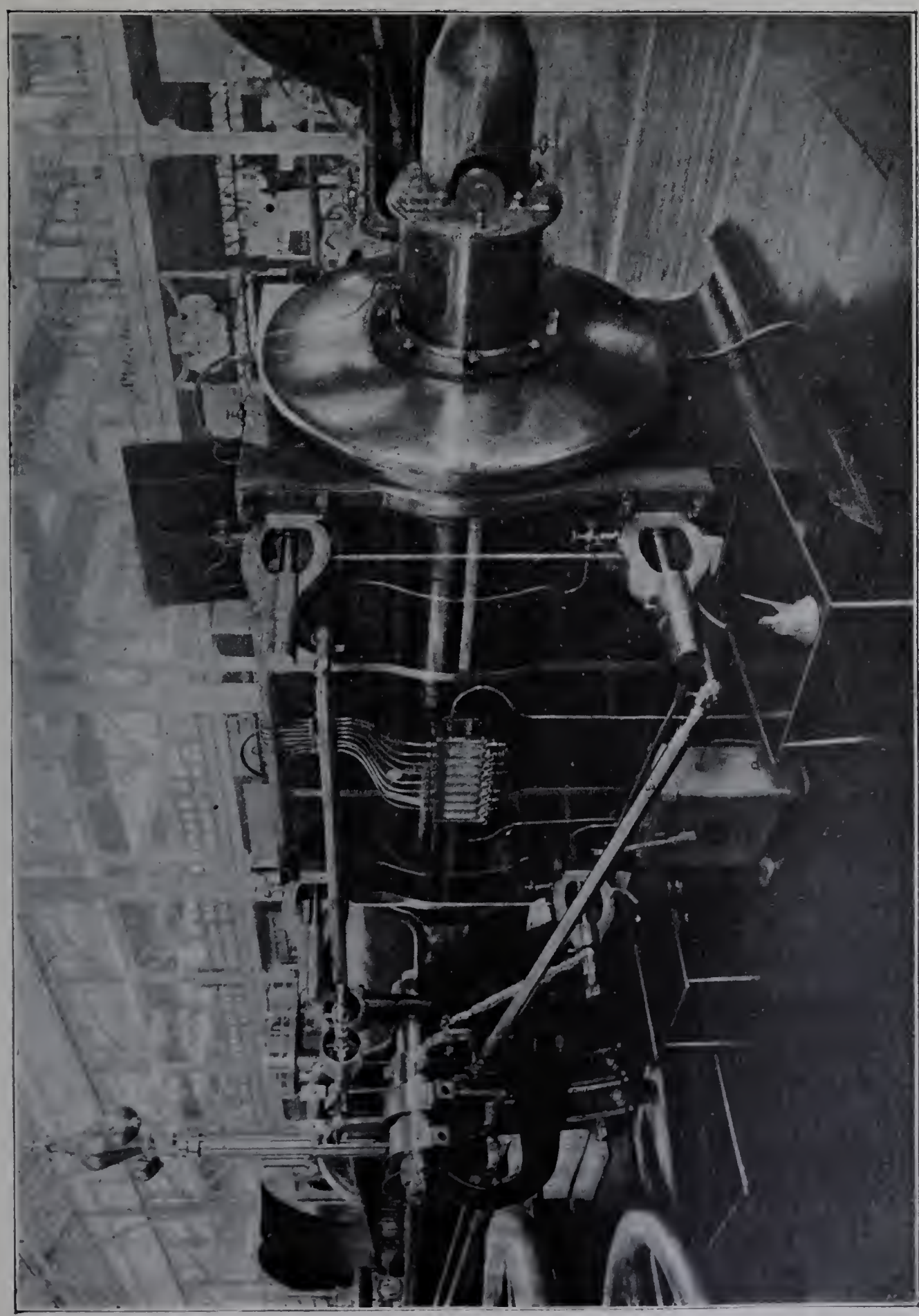


Fig. 402. — Machine Corliss à deux cylindres de MM. Crépelle et Garand. — Vue du petit cylindre.

tradition et l'expérience en fait de machines Corliss. Ils exposent un moteur compound de 1,200 chevaux, à longue course, tournant à 70 tours par minute (fig. 402 et 403).

IMPRIMERIE NATIONALE.

Les dimensions caractéristiques de ce moteur sont les suivantes :

$$D_1 = 0^m685 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.34$$
$$D_2 = 1\ 32 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.72$$
$$L = 1\ 60 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m79$$
$$N = 71$$

Les 1,200 chevaux correspondent, avec une pression initiale de 9 kilogrammes par centimètre carré, à une introduction de 1/4 au petit cylindre, ce qui donne une expansion totale de 15.

L'arbre porte en son milieu un volant de 6 m. 20 de diamètre et, de chaque côté, juxtaposé au volant, l'induit d'une dynamo à courant continu de 400 kilowatts, susceptible de fournir 1,800 ampères sous 230 volts ou 1,600 sous 250. Ces deux dynamos, construites par la Société nouvelle des Établissements Decauville, ont été accouplées en tension.

L'arbre, foré suivant son axe, porte deux manivelles décalées de 90 degrés. Les bâtis sont du type à baïonnette. Ils ne sont pas venus de fonte avec leurs paliers respectifs; le palier et le bâti forment deux pièces distinctes solidement boulonnées ensemble. La maison Crépelle et Garand préfère ce mode d'établissement pour la facilité des réparations éventuelles.

Ces bâtis ont dans leur partie tubulaire une glissière ajustable.

Chaque piston est supporté par une tige et une contre-tige; les contre-tiges jouent à l'arrière dans des fourreaux protecteurs.

Les cylindres sont entourés d'enveloppes, alimentées, du côté de la basse comme du côté de la haute pression, par de la vapeur venant directement des chaudières; toutefois la vapeur allant à l'enveloppe du grand cylindre passe par un détendeur. Ces enveloppes sont continuellement asséchées par une pompe qui renvoie aux chaudières l'eau de condensation.

Les ateliers Crépelle et Garand disposent quelquefois une enveloppe de vapeur autour du réservoir intermédiaire; dans la machine exposée, ce réservoir n'est pas chauffé. Sa capacité est égale à celle du grand cylindre.

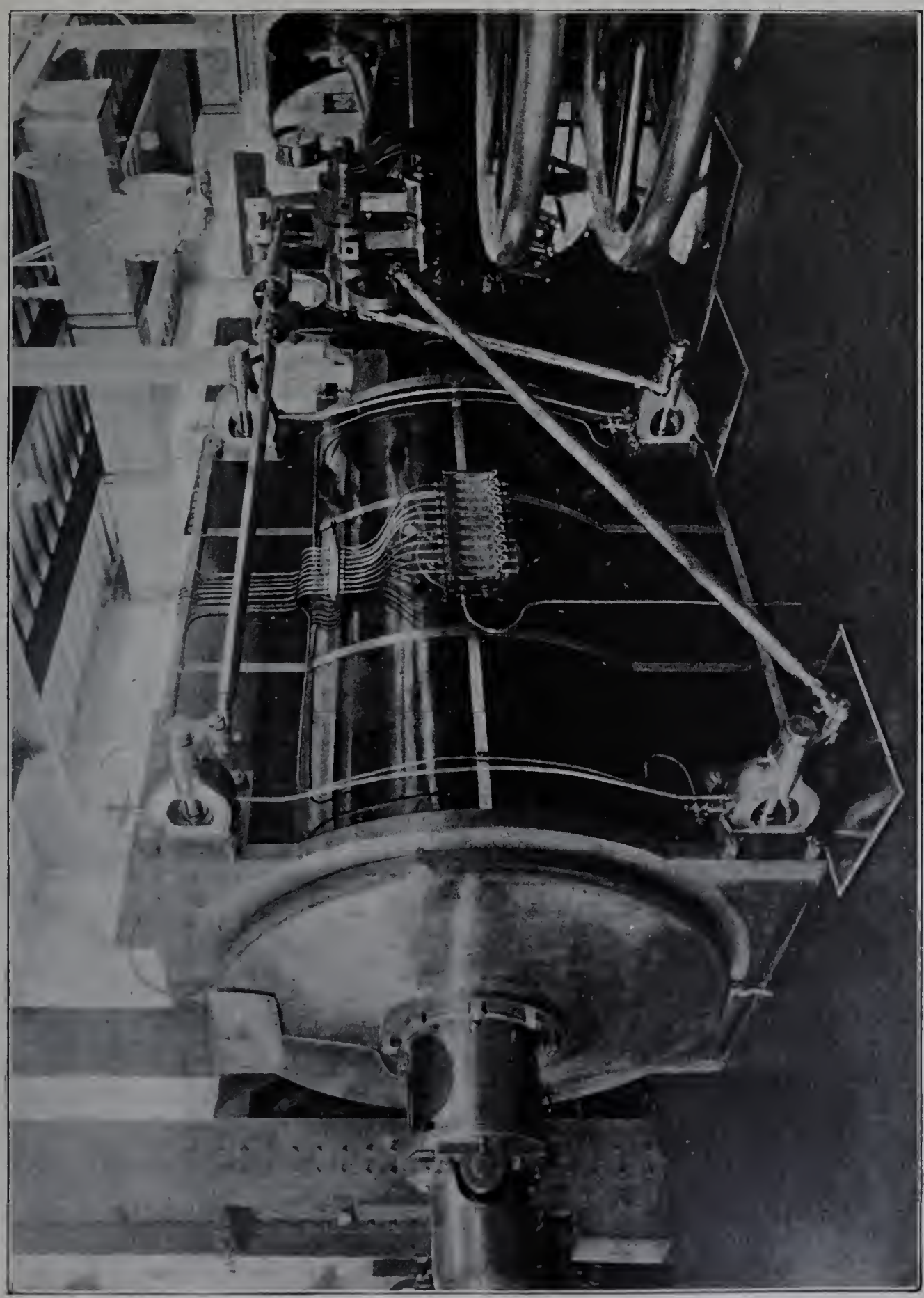
Les cylindres sont à chemise intérieure rapportée. Bien que les tiroirs d'échappement soient disposés de manière à ne faire saillie dans le cylindre à aucun moment de leur oscillation, les espaces morts ne sont que de 2 ou 3 p. 100, avec 6 ou 8 millimètres de liberté pour le piston en fin de course.

La distribution est commandée, pour chaque cylindre, par deux excentriques indépendants. L'un d'eux fait osciller un plateau-balancier spécial aux deux tiroirs d'échappement.

L'autre sert pour l'admission, qui est à déclic et disposée suivant le type classique à lames de sabre.

Du côté de la haute pression, les déclics sont placés sous la dépendance d'un régu-

lateur à grosse masse axiale, avec frein et compensateur; l'admission peut varier de zéro à 60 p. 100. Elle serait totalement supprimée en cas de chute du manchon. Du côté de



403. — Machine Corliss à deux cylindres de MM Crépelle et Garand. — Vue du grand cylindre.

la basse pression, la position des butées de déclenchement est simplement réglable à la main.

Compagnie de Fives-Lille. — Le groupe électrogène, construit par la Compagnie de Fives-Lille pour constructions mécaniques et entreprises, répond, en ce qui touche le moteur, aux données que voici :

$$D_1 = 0^m 70 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.00$$
$$D_2 = 1\ 30 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.45$$
$$L = 1\ 40$$
$$N = 78.9 \qquad \frac{2LN}{60} = 37^m 0$$

Établi sur un plan général analogue au précédent, suivant les dispositions dont rendent compte les fig. 404 à 414, ce moteur développe 1,200 chevaux avec une pression effective initiale de 8 kg. 1/2 et une admission de 25 p. 100 au petit cylindre, soit une expansion totale de 13,8; l'admission correspondante au grand cylindre est de 40 p. 100.

Le volant en fonte, de 6 mètres de diamètre, calé sur le milieu de l'arbre, porte les 76 bobines inductrices d'un alternateur à courants triphasés donnant 800 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance égal ou supérieur à 0.7. Cet inducteur-volant, dont la vitesse périphérique est de 25 mètres par seconde, pèse 35 tonnes et réduit la variation de vitesse dans le tour à environ 1/500e en plus ou en moins de la moyenne.

Les cylindres sont écartés de 6 mètres d'axe en d'axe. L'arbre, dont le diamètre dans la partie milieu est de 0 m. 65, repose par des tourillons de 0 m. 40 de diamètre et 0 m. 80 de longueur dans deux paliers dont la distance d'axe en axe est de 4 m. 38. Les coussinets, garnis de métal antifriction, sont lubrifiés par une pompe à huile.

Chaque palier fait partie d'un bâti du type Allis, à longue assise, sur lequel est boulonnée, pour le relier au cylindre, une entretoise de forme tubulaire contenant les glissières.

L'arbre se termine par deux plateaux-manivelles sur lesquels sont emmanchés les tourillons, décalés de 90 degrés. La crosse est en acier forgé, avec patins de fonte garnis d'antifriction.

Le petit cylindre est à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour. Il est formé de trois parties : la chemise avec l'enveloppe, venues de fonte ensemble, et les fonds creux. La vapeur vive est amenée d'abord dans l'enveloppe cylindrique, passe de là dans les fonds par des communications extérieures, et c'est dans les fonds que s'ouvrent les orifices d'admission.

Le grand cylindre, à chemise intérieure rapportée, est pourvu d'une enveloppe alimentée par une arrivée spéciale de vapeur, qui vient des chaudières après avoir traversé un détendeur. L'eau de condensation est continuellement purgée au bas de cette enveloppe par une pompe qui la renvoie aux générateurs.

Le réservoir intermédiaire est chauffé aussi par de la vapeur détendue. Il est formé (fig. 409 et 410) d'un cylindre en tôle, de 1 mètre de diamètre et 3 mètres de longueur, terminé par deux plaques tubulaires et traversé par 19 tubes en fer de 6 centimètres de diamètre, dont un tube-tirant central. La vapeur se rendant du petit cylindre au grand

circule autour des tubes, amenée à un bout du réservoir et reprise à l'autre par deux tubulures latérales, qui mesurent respectivement 0 m. 27 et 0 m. 40 de diamètre. D'autre part, les plaques tubulaires sont coiffées de couvercles bombés en tôle emboutie et, dans la capacité formée par l'intérieur des tubes et par ces couvercles, on fait accéder la vapeur détendue à 2 kg. 1/2 ou 3 kilogrammes par centimètre carré. L'eau de condensation est continuellement enlevée au bas des deux couvercles et renvoyée aux générateurs de vapeur.

Le *receiver* ainsi constitué a une capacité nette de 2 mètres cubes, voisine de celle du grand cylindre, et une surface de chauffe de 16 mètres carrés.

Les pistons sont du type suédois, garnis de trois segments. Les espaces nuisibles sont d'environ 2 ou 3 p. 100 au petit cylindre et 4 p. 100 au grand, avec des libertés de piston de 5 millimètres à l'arrière et de 10 ou 12 millimètres à l'avant, du côté du rattrapage du jeu.

La distribution est de même système aux deux cylindres. De chaque côté, elle est commandée par deux excentriques indépendants, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement. Ces excentriques actionnent, chacun par un relais de bielles, deux pièces oscillantes formant balanciers de distribution et enfilées l'une au bout de l'autre sur un même axe, au centre du rectangle formé par les axes des quatre distributeurs. Le balancier affecté à l'échappement agit comme d'ordinaire, par deux bielles obliques, sur les manettes des tiroirs du bas. Celui affecté à

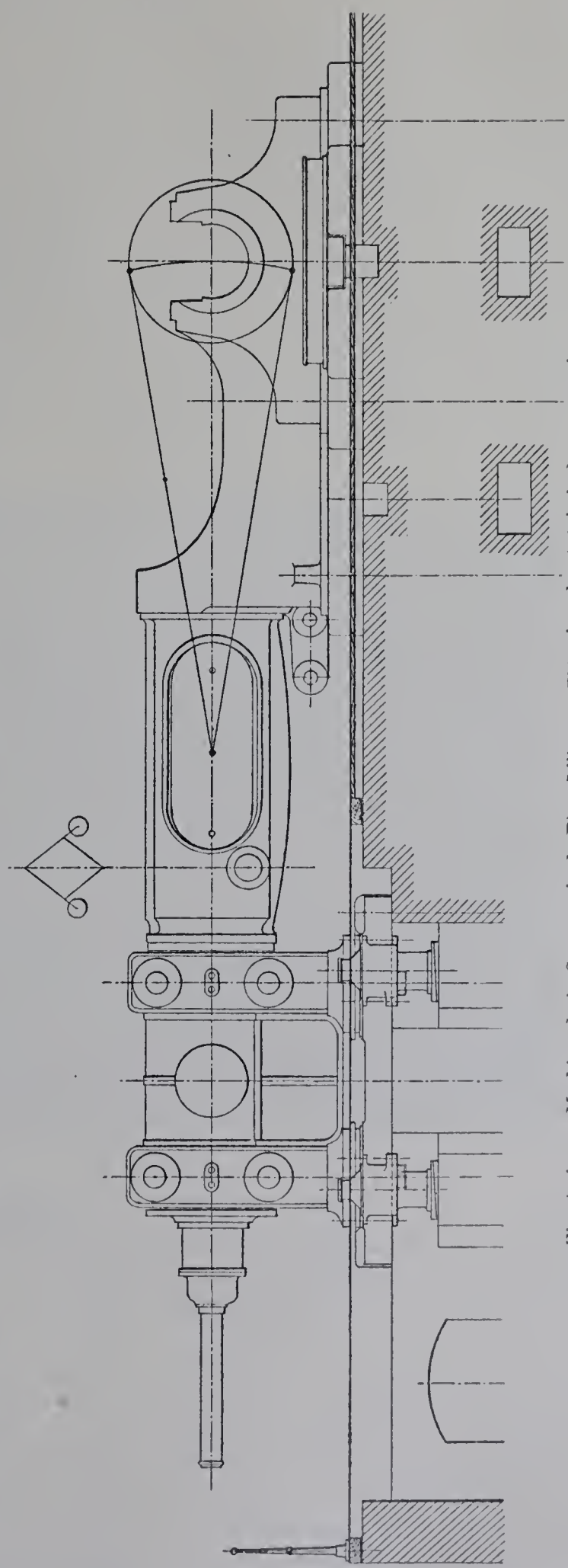


Fig. 404. — Machine de la Compagnie de Fives-Lille. — Elévation du côté de la haute pression.

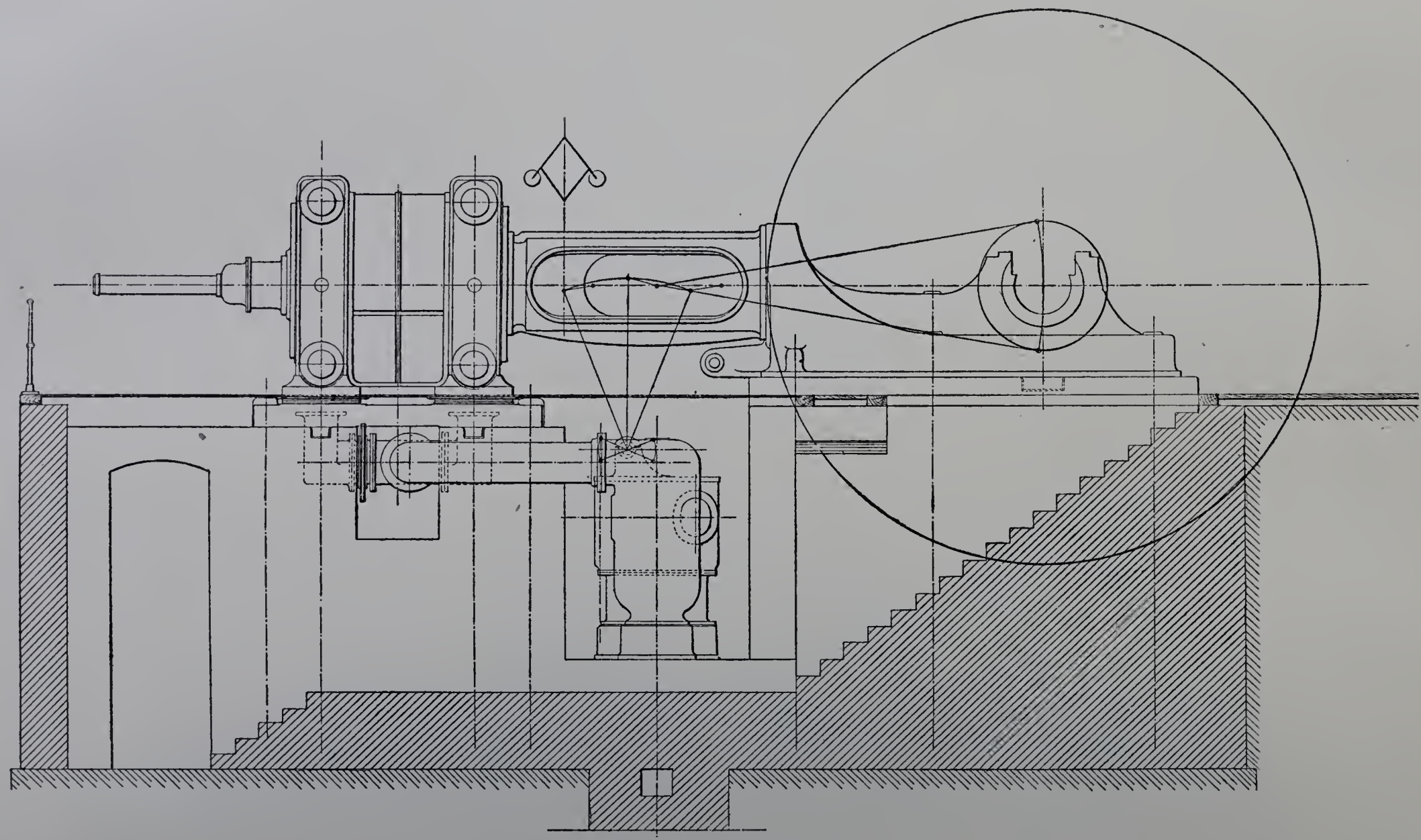


Fig. 405. — Élévation du côté de la basse pression.

l'admission fait mouvoir deux autres bielles obliques, qui vont aux tiroirs du haut et font osciller les pièces menantes des mécanismes de déclenchement.

Chacun de ceux-ci (fig. 411 à 414) est tourillonné sur l'axe du tiroir d'admission correspondant. La pièce menante est armée d'un cliquet à ressort, par lequel elle entraîne la pièce menée. Pour détruire l'enclenchement, il suffit de soulever le cliquet. A cet effet, celui-ci est un levier coudé en forme de V, articulé par le sommet de l'angle; l'une des branches du V constitue la clenche, l'autre est une gâchette qui traîne sur un excentrique à onde. La rencontre d'une bosse sur cet excentrique soulève la gâchette et, par conséquent, le cliquet. L'excentrique à onde est tourillonné, lui aussi, sur l'axe commun aux deux autres pièces; de son orientation dépend l'instant du déclenchement.

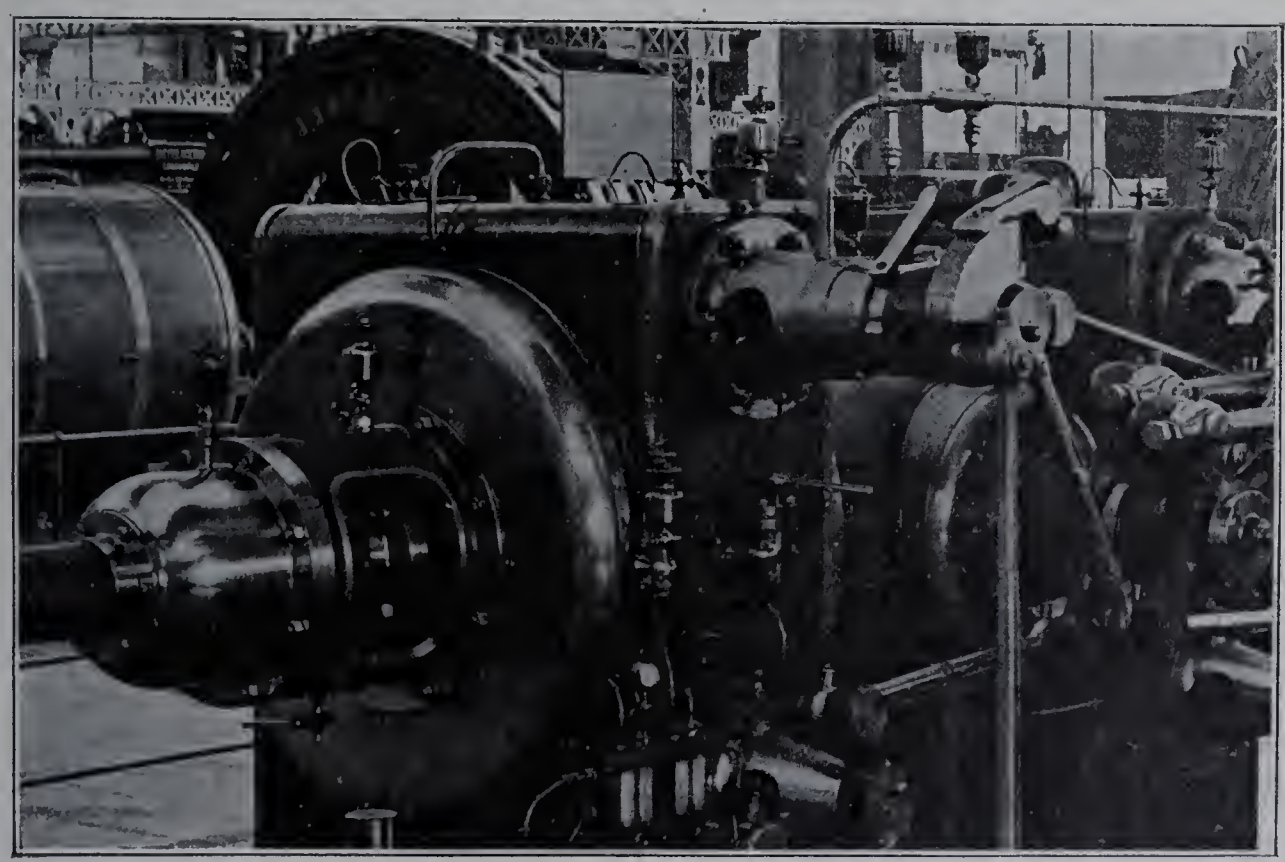


Fig. 406. — Vue du petit cylindre.

Le rappel est pneumatique, avec un *dash-pot* à air dont l'action peut être réglée par une ouverture à pointeau. Suivant une disposition que nous avons déjà remarquée sur la machine tandem d'Escher Wyss, l'enclenchement et le rappel agissent d'un même côté de l'axe d'oscillation, de manière à soulager l'axe.

Non seulement, dans cette machine, il y a déclic aux deux cylindres, mais on s'est attaché à faire varier simultanément les admissions. L'orientation des excentriques à onde gouvernant les déclics est placée, pour chaque cylindre, sous la dépendance d'un régulateur centrifuge à grosse masse axiale, monté sur une colonnette au voisinage du cylindre et dont le mouvement est pris sur l'arbre de la machine par deux chaînes sans fin successives, avec poulie de relais intermédiaire. Pour qu'il y ait toujours correspondance entre les actions de ces deux régulateurs, leurs manchons sont rendus

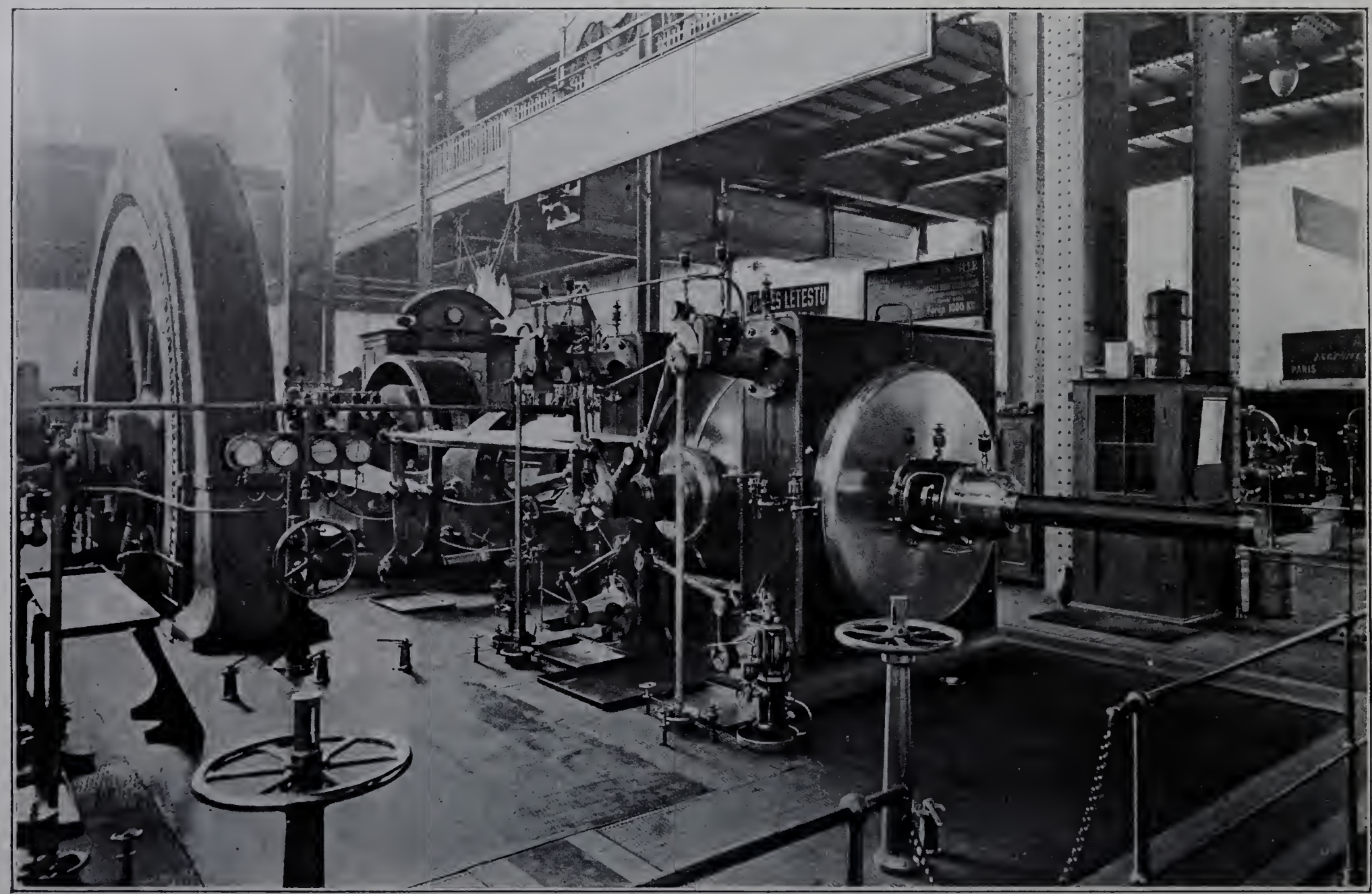


Fig. 407. — Machine de la Compagnie de Fives-Lille. — Vue du grand cylindre.

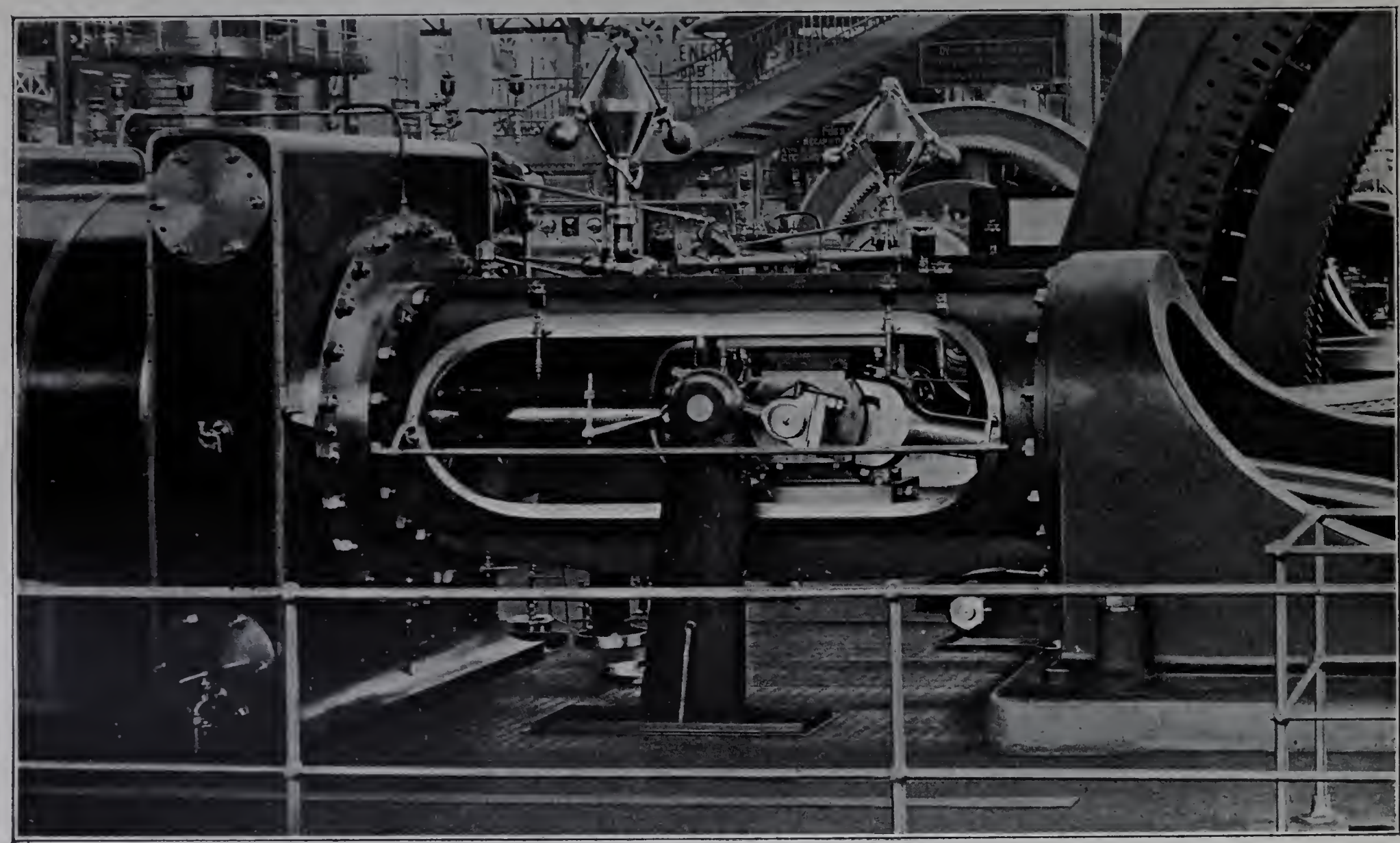


Fig. 408. — Machine de la Compagnie de Fives-Lille. — Glissière du côté de la basse pression.

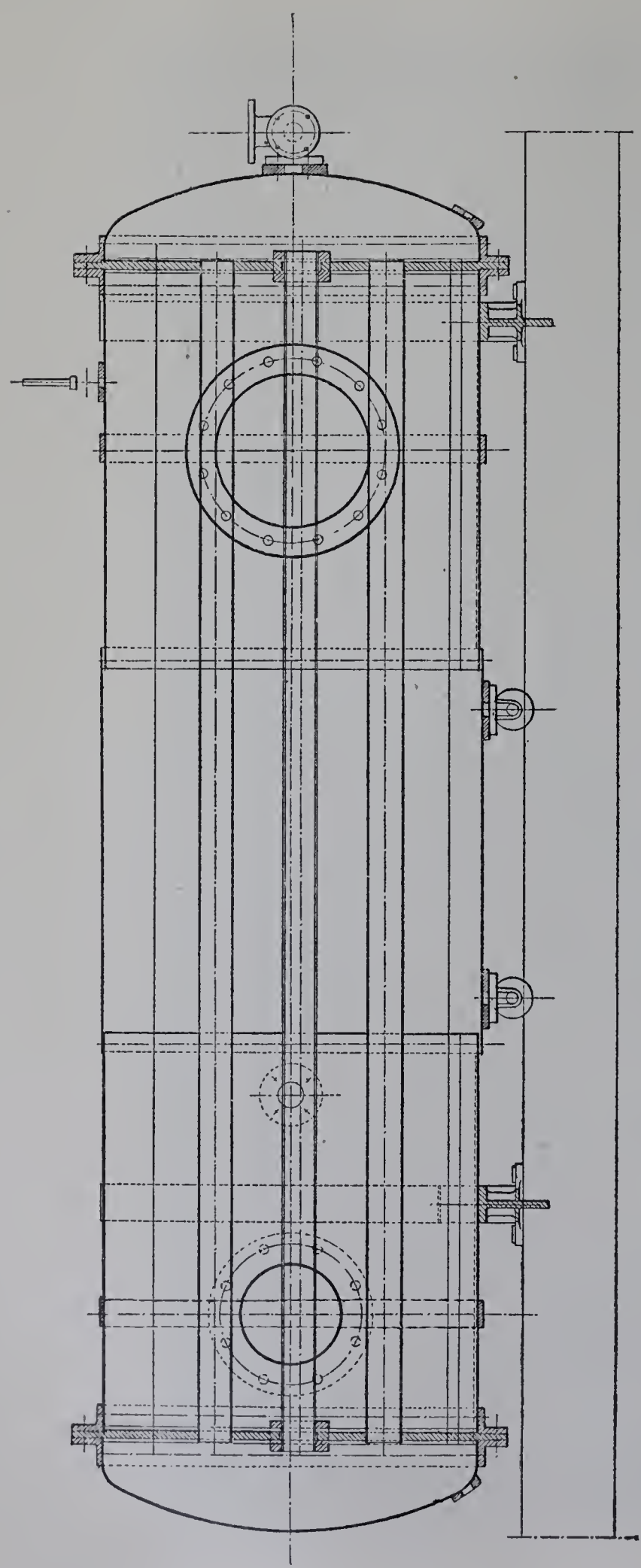


Fig. 409. — Réservoir intermédiaire. — Coupe longitudinale.

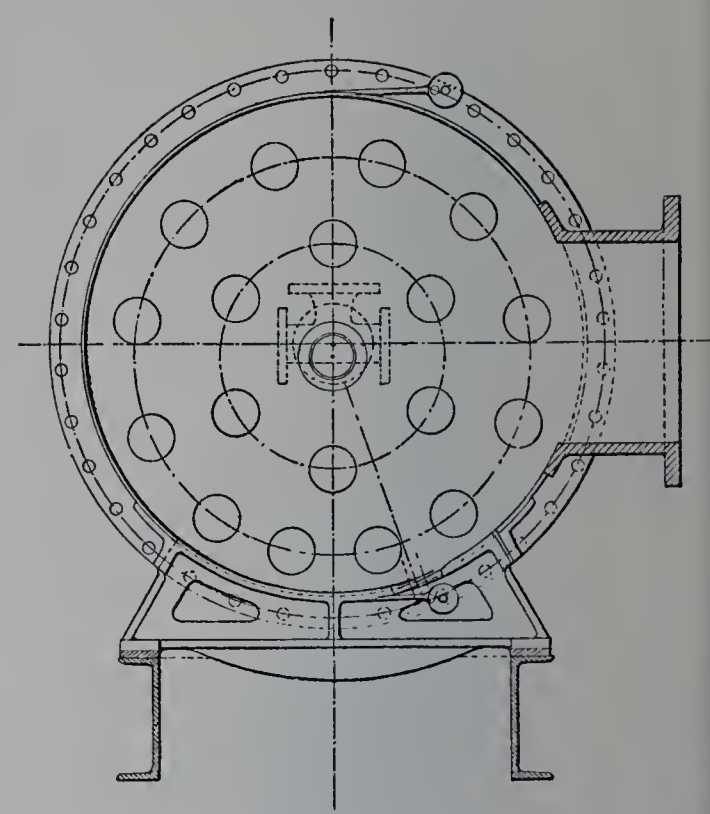


Fig. 410. — Coupe transversale du réservoir intermédiaire.

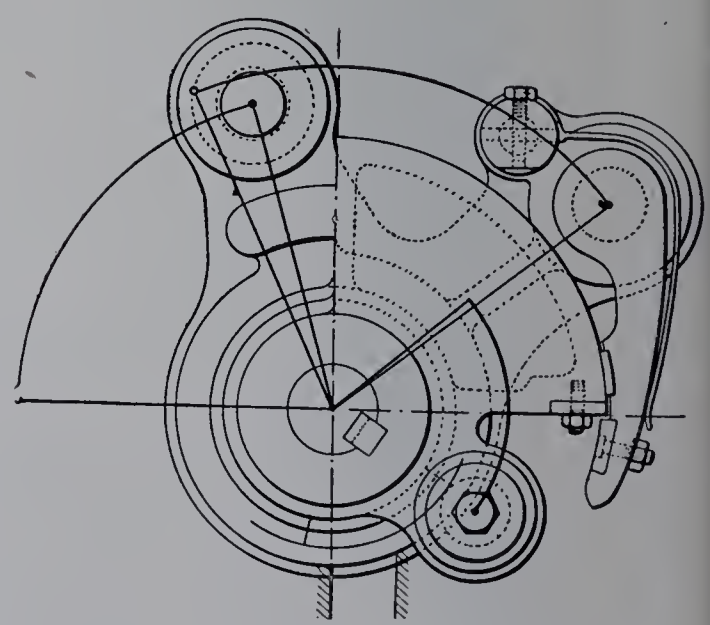


Fig. 411. — Mécanisme de commande d'un tiroir d'admission. Élévation normale à l'axe du tiroir.

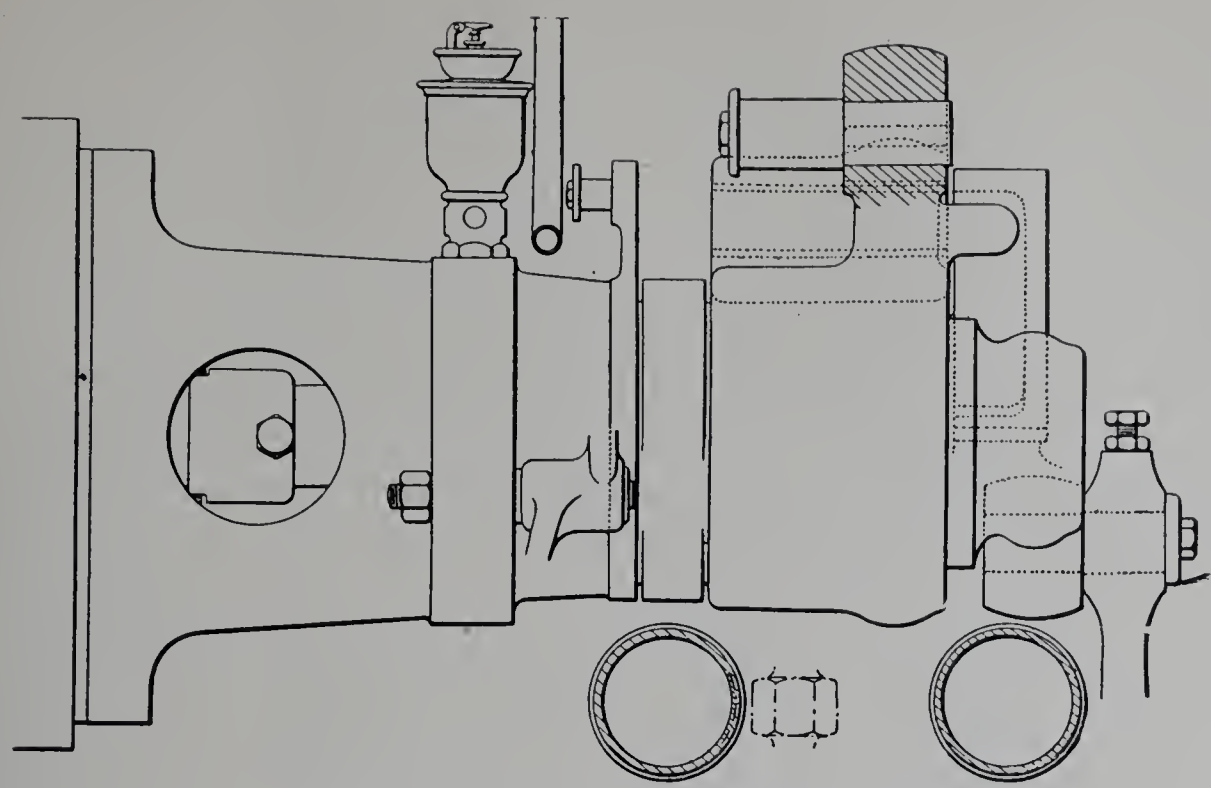


Fig. 412. — Élévation parallèle à l'axe du tiroir.

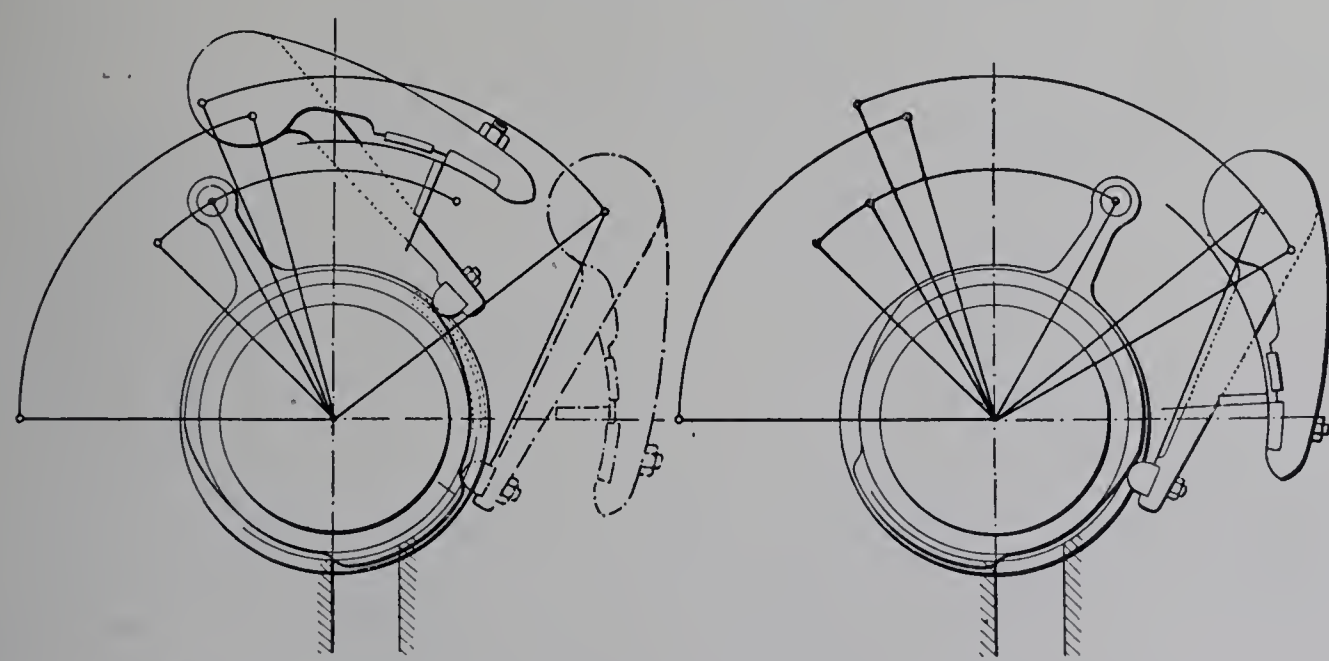


Fig. 413. — Admission longue ou courte suivant la position de l'excentrique à onde.

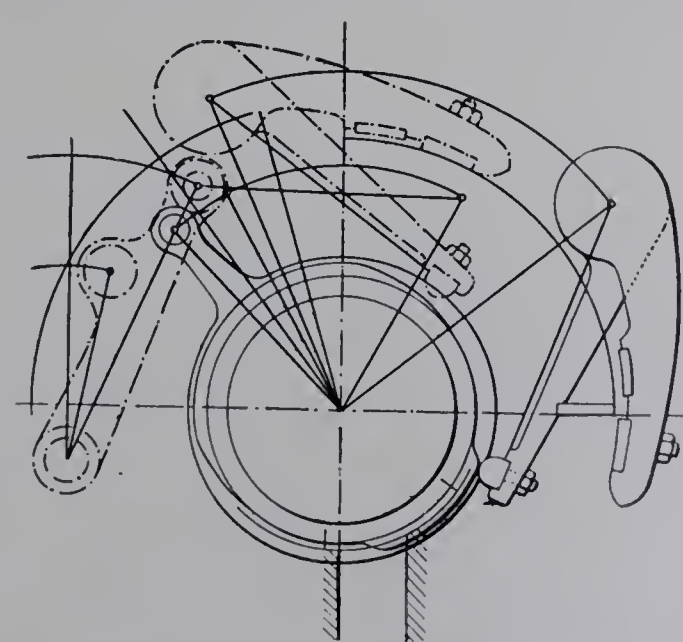


Fig. 414. — Suppression de l'enclenchement.

solidaires au moyen d'une liaison formée de deux bielles légères, aboutissant à un mince arbre transversal assoupli par des cardans.

Machines Dujardin pour filatures. — Ce n'est pas tout pour la section française. Deux machines horizontales compound à cylindres parallèles, avec manivelles calées à 90 degrés, font partie de la belle exposition de MM. Dujardin et Cie : l'une est de 1,200, l'autre de 300 chevaux. Ces moteurs ont été établis suivant les mêmes principes de construction et avec les mêmes arrangements de mécanisme que la machine tandem précédemment décrite. En voici les données caractéristiques :

MACHINE DE 1,200 CHEVAUX :

$$D_1 = 0^m75 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.2$$
$$D_2 = 1\ 40 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.46$$
$$L = 1\ 65$$
$$N = 62 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m41$$

MACHINE DE 300 CHEVAUX :

$$D_1 = 0^m43 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.1$$
$$D_2 = 0\ 80 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.47$$
$$L = 0\ 90$$
$$N = 84 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m52$$

Les réservoirs intermédiaires mesurent respectivement, en chiffres ronds, 1300 et 500 litres.

Ces machines ne sont pas destinées à des usines génératrices d'électricité, mais à des filatures. Chacune d'elles porte en conséquence sur son arbre un volant à gorges pour recevoir les câbles de transmission. Ces volants-poulies mesurent respectivement 7 mètres et 4 m. 50; leurs vitesses périphériques sont de 23 mètres et de 20 mètres par seconde. Les écarts de vitesse de part et d'autre de la moyenne ne dépassent pas, dans le tour, 1/300 pour la première de ces machines, 1/360 pour la seconde.

M. H. Bollinckx. — La Société anonyme des Ateliers de construction H. Bollinckx, de Bruxelles, s'est fait une spécialité des machines à vapeur à tiroirs Corliss, pour les puissances importantes, et de celles à détente Rider pour les applications plus modestes. Elle expose un moteur de 1,000 chevaux, du type compound à manivelles croisées, tournant à 80 tours par minute avec une vitesse moyenne de pistons qui atteint 4 mètres par seconde (fig. 415 à 421). Voici le tableau des principales données :

$$D_1 = 0^m76 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.00$$
$$D_2 = 1\ 15 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.29$$
$$L = 1\ 50$$
$$N = 80 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m00$$

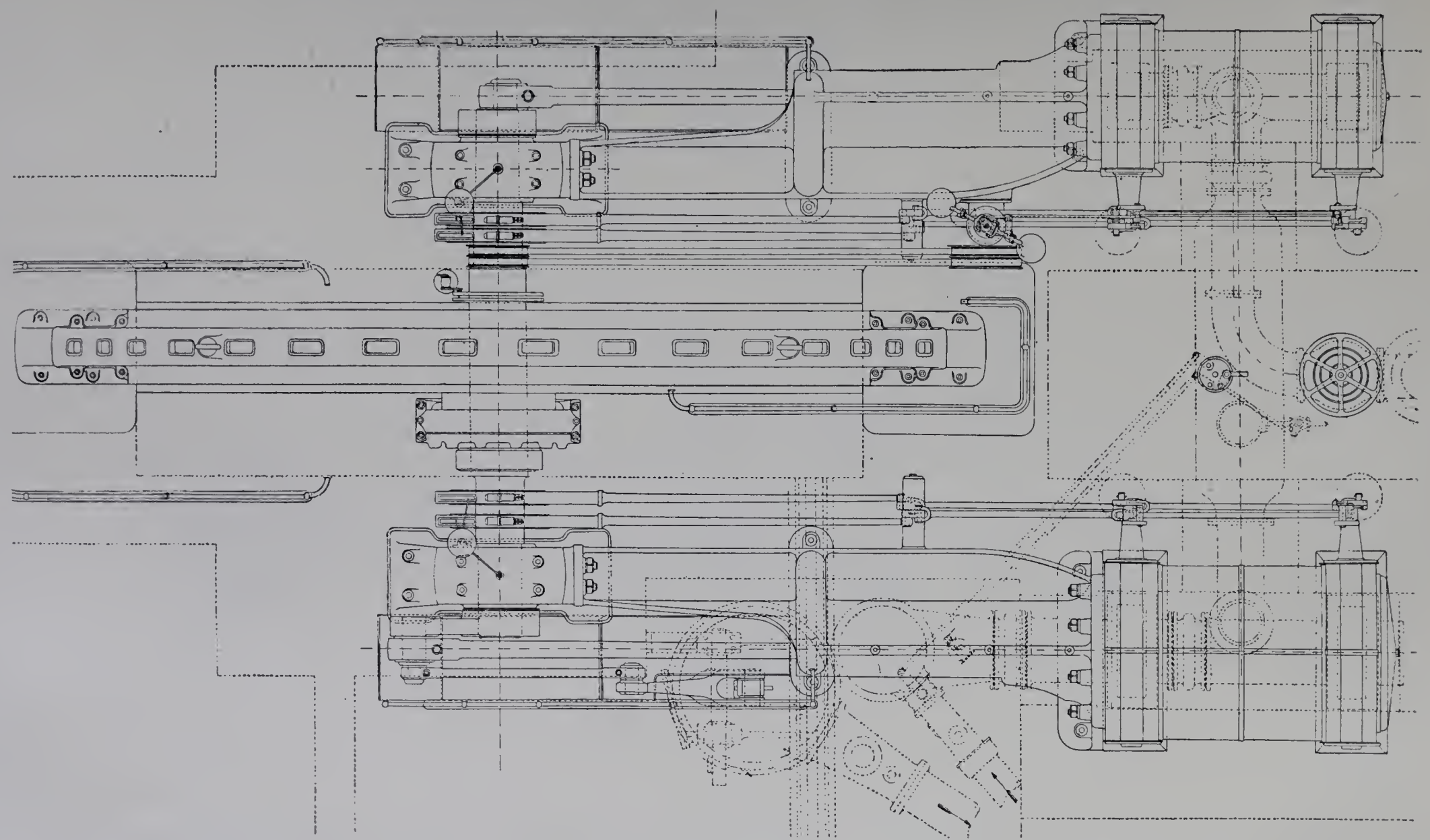


Fig. 415. — Machine Bollinckx. — Plan.

La machine fait tourner l'inducteur-volant d'un alternateur à courants triphasés, construit par la Société «Électricité et Hydraulique» de Charleroi, dont la puissance apparente est 760 kilovolts-ampères et la puissance vraie 646 kilowatts.

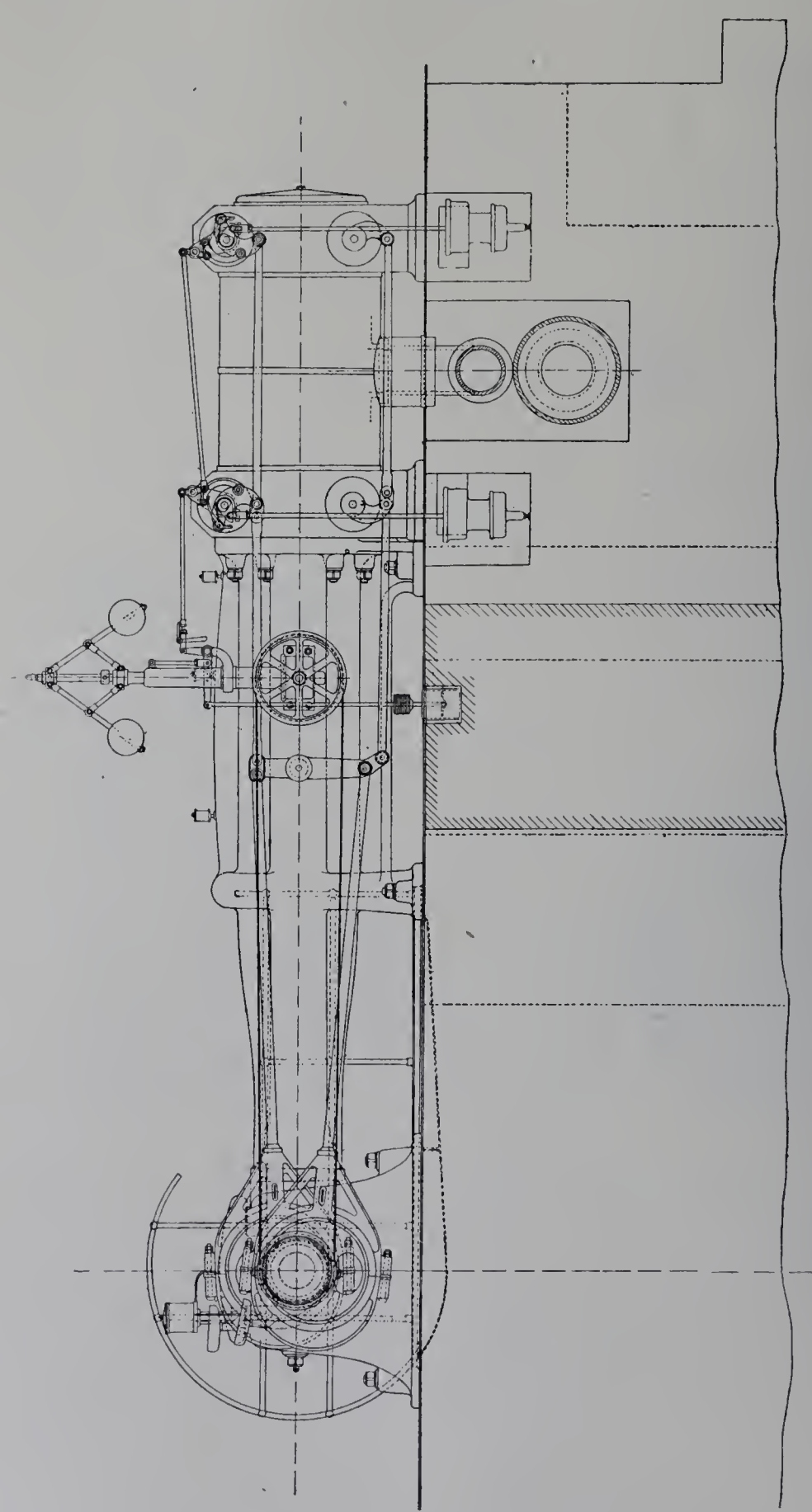


Fig. 416. — Machine Bollinckx. — Élévation du petit cylindre.

L'inducteur, qui mesure 5 m. 65 de diamètre et pèse 20 tonnes, a pour ossature un volant de fonte en deux parties, serré sans clavetage sur un arbre de 0 m. 50 de diamètre.

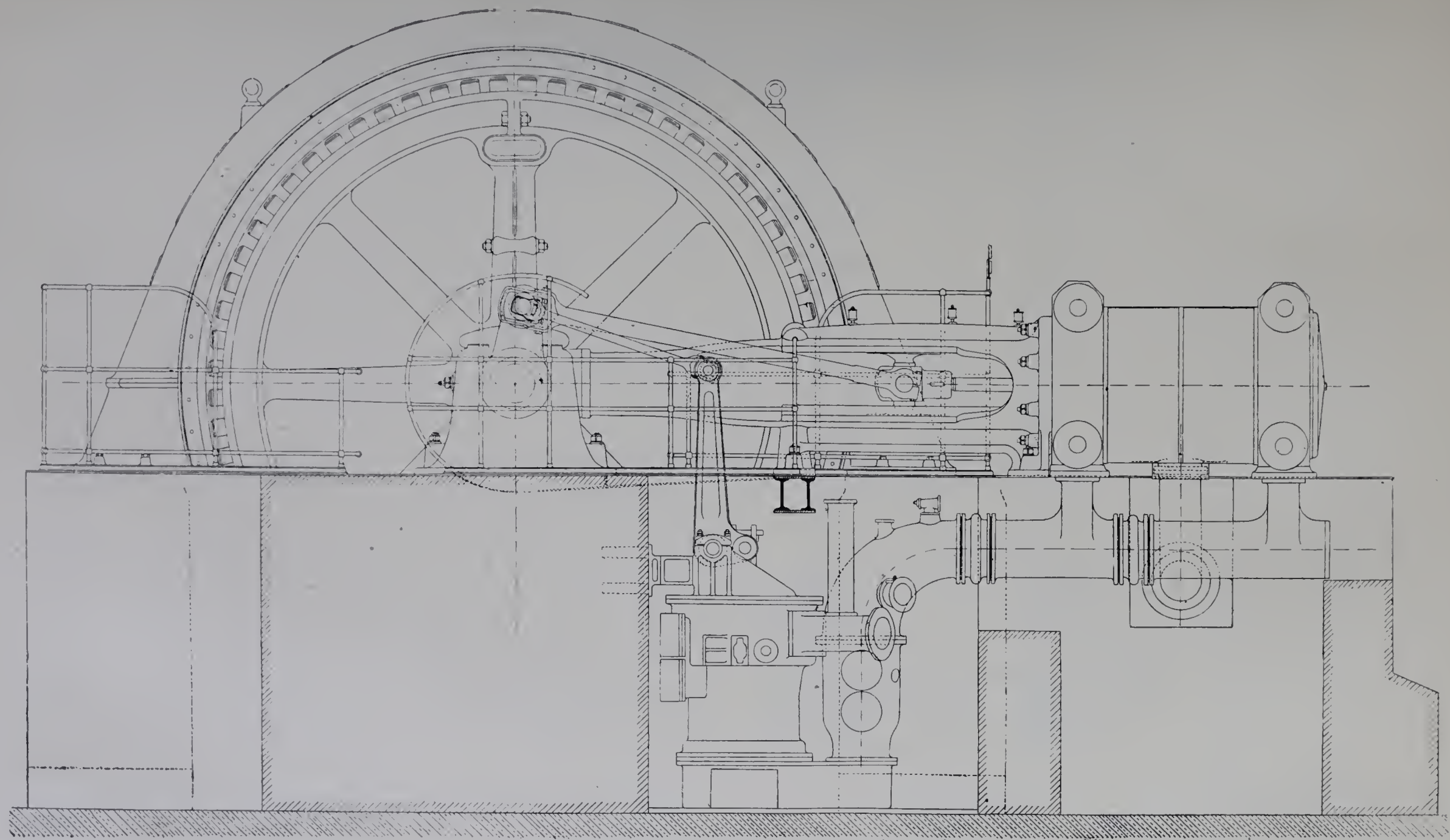


Fig. 417. — Élévation, côté du grand cylindre.

Réduit au diamètre de 0 m. 38 à ses extrémités, cet arbre repose dans deux paliers distants de 4 m. 80 d'axe en axe, dont les coussinets, formés de quatre parties et facilement démontables, sont en acier revêtu de métal blanc. Les bâtis sont à baïonnette et à glissières cylindriques: une circulation d'eau y est ménagée. Chacun d'eux est supporté vers son milieu par un pied de fonte placé à l'avant de la glissière.

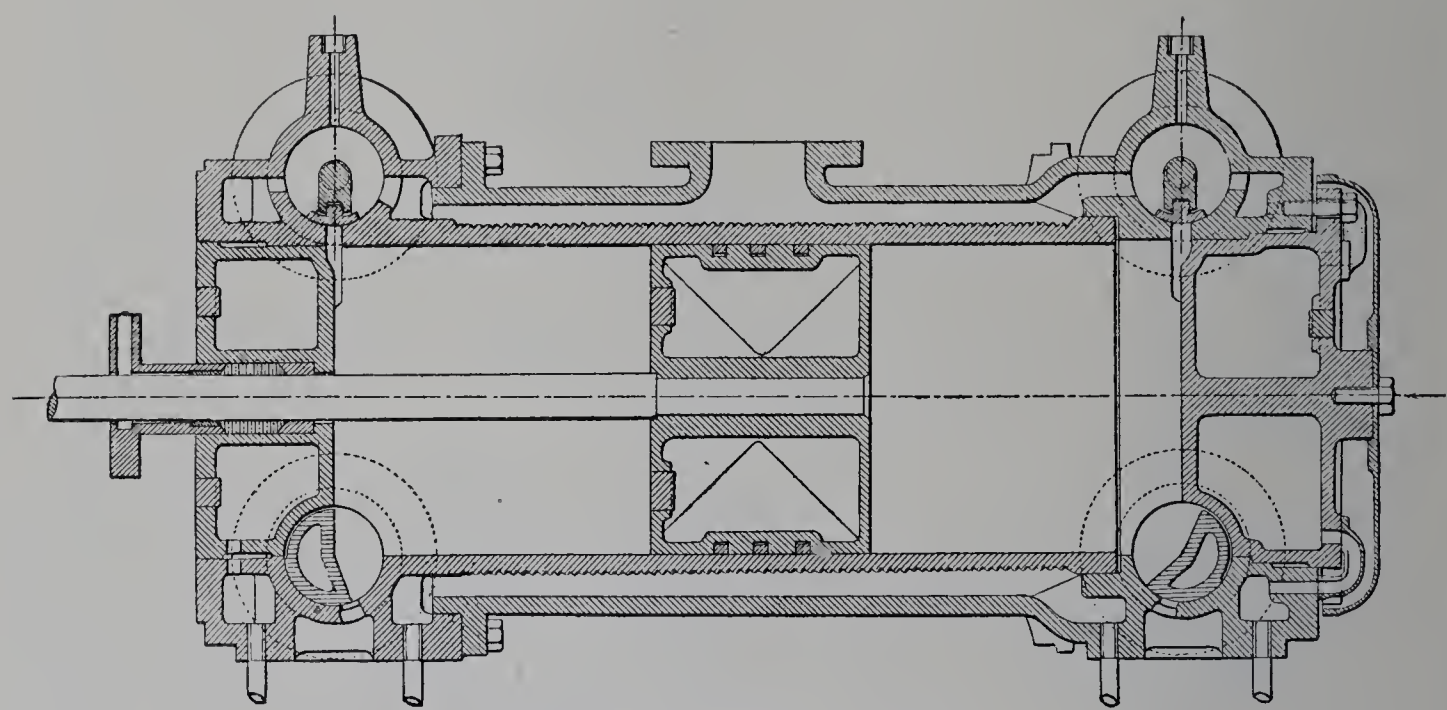


Fig. 418. — Coupe du petit cylindre.

Les cylindres sont l'un et l'autre à enveloppe de vapeur complète, fond et pourtour. Chacun d'eux est fondu en quatre pièces, comme les fig. 418 à 420 le font comprendre. L'une de ces pièces (fig. 419) constitue la chemise intérieure, mais ne se réduit pas à cette chemise seule : avec elle sont venus de fonte les logements A, B des deux distributeurs *V*. La seconde pièce (fig. 420) se compose de l'enveloppe cylindrique portant, venus de fonte avec elle, les logements C, D des deux distributeurs *R*. Ces deux pièces sont coulées debout, les logements de distributeurs au bas du moule, comme l'indiquent les dessins; elles sont ensuite emmanchées l'une dans l'autre à la presse hydraulique. L'assemblage se fait métal sur métal, par emboîtement cylindrique de P sur O à l'extrémité *R*; il y a, d'autre part, sur l'enveloppe à l'extrémité *V*, un joint circulaire boulonné. Les deux autres pièces, qui complètent le cylindre, sont les fonds creux; celui d'avant, emmanché à demeure, communique avec l'enveloppe cylindrique au moyen des fenêtres percées dans sa paroi latérale et dans la partie correspondante de la chemise; pour le couvercle d'arrière, qui est amovible, les communications sont établies par l'extérieur au moyen de courts tuyaux coudés. Des orifices de purge, au nombre de quatre, sont ménagés aux divers points bas de l'enveloppe cylindrique et des deux fonds. L'asséchement est obtenu par un purgeur automatique à flotteur, du type déjà mentionné (fig. 214).

L'enveloppe de vapeur du petit cylindre est alimentée par la vapeur vive, celle du grand par la vapeur du réservoir intermédiaire. Dans l'intention d'accroître l'efficacité

de la partie cylindrique des enveloppes, la surface extérieure des chemises est striée d'une série de rainures circulaires, dont les parties séparatives forment comme autant de petites ailettes.

Dans chaque cylindre se meut un piston creux sans contre-tige, mais de très grande longueur, garni de trois segments. Il est emmanché sur sa tige à la presse hydraulique ; c'est un emmanchement cylindrique freiné en bout par l'épanouissement de la tige.

Ce mode de fixation permet de faire les faces du piston entièrement planes, ainsi que celles des fonds de cylindres. Avec ces formes et les dispositions données aux logements des obturateurs, les espaces morts ne sont que d'environ 2 p. 100.

Les joints de pénétration des axes des obturateurs sont rendus étanches par le simple appui d'un collet circulaire, métal contre métal, sous l'action de la différence des pressions.

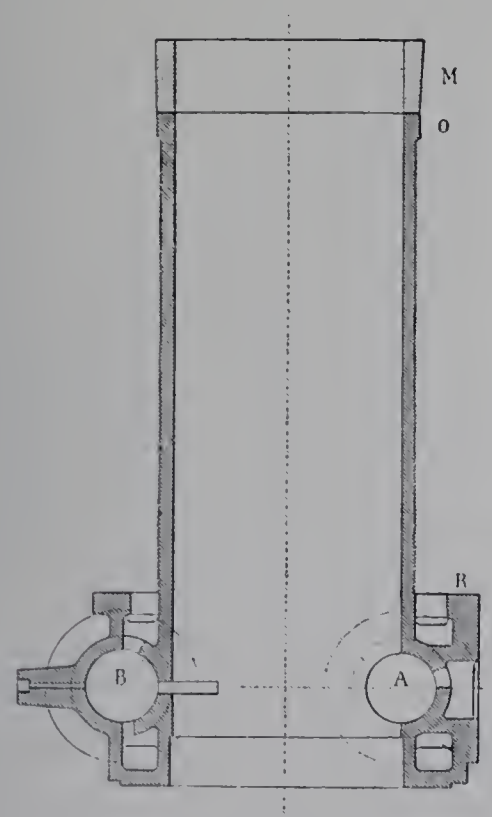


Fig. 419. — Coulée du cylindre. Chemise intérieure.

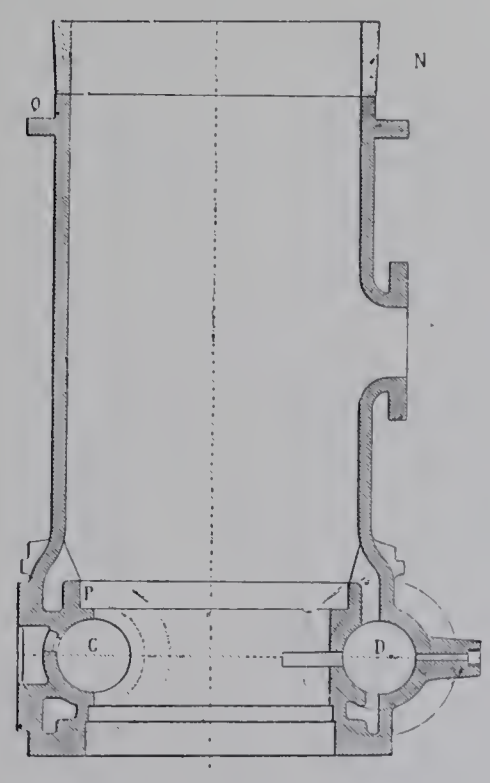


Fig. 420. — Coulée du cylindre. Enveloppe.

Le contact franc de chaque tiroir d'admission sur sa glace cylindrique est assuré par le mode d'entraînement de la pièce frottante, qui n'est solidarisée avec la partie axiale du robinet que par la pénétration d'une arête dans une mortaise suivant la disposition déjà représentée (fig. 228) : cette pénétration guide complètement le patin dans ses déplacements angulaires autour de l'axe, mais lui laissent la liberté de toujours s'appliquer sur la glace, par la différence des pressions, d'une manière régulière.

Le mécanisme de la distribution est le même aux deux cylindres, sauf que l'admission du petit cylindre est seule placée sous la dépendance du régulateur ; celle du grand est simplement réglable à la main.

De chaque côté de la machine, deux excentriques sont juxtaposés sur l'arbre. L'un d'eux, par un relais de bielles, actionne directement les manettes des deux tiroirs

IMPRIMERIE NATIONALE.

d'échappement. L'autre, par une transmission analogue, fait osciller sur l'axe de chacun des deux tiroirs d'admission la pièce menante d'un mécanisme à déclic. La libération

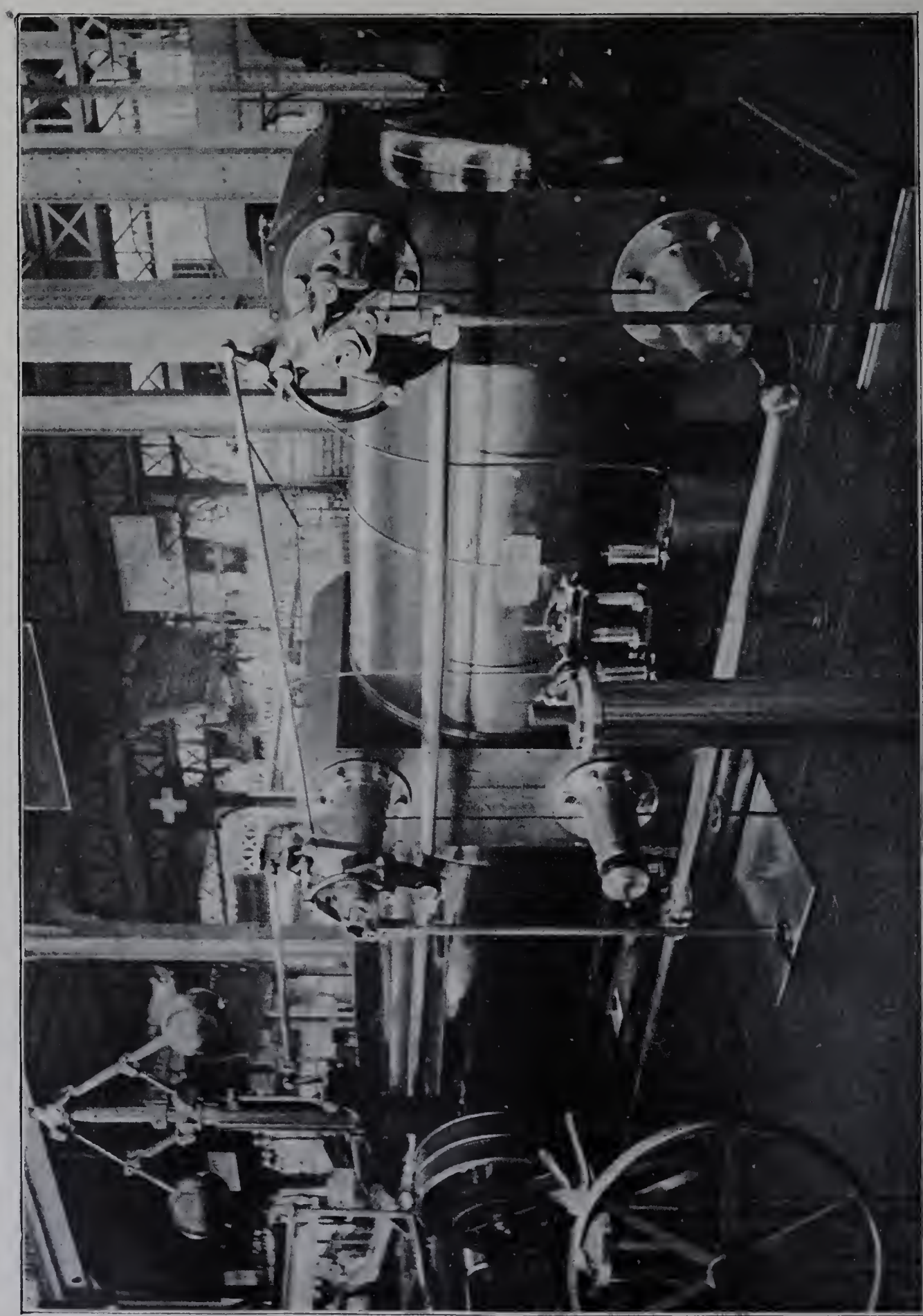


Fig. 421. — Machine Bollinckx. — Vue du petit cylindre.

est produite par un mouvement composé agissant sur une gâchette. A cet effet, la pièce menante entraîne la manette du tiroir par un cliquet affectant la forme d'un levier

coudé à branches inégales : la tête porte la clenche, la queue constitue la gâchette. Le déclenchement a lieu quand un galet vient la pousser. Ce galet est porté par un bras courbe articulé sur la pièce menante elle-même : le point d'articulation est placé de telle sorte que si, par rapport à la susdite pièce menante, le bras courbe s'incline en faisant jouer son articulation, il abaisse son galet sur la gâchette. Rien de tel ne se produirait si, au cours de l'oscillation de la pièce menante, le bras courbe suivait purement et simplement le mouvement sans que son articulation entrât en jeu. Mais il n'en est pas ainsi, parce que, d'autre part, l'extrémité du bras courbe est attelée par biellette à l'une des extrémités d'un petit balancier dont l'axe est astreint à décrire un arc de cercle autour de l'axe du tiroir et dont l'autre extrémité est reliée, par un système de bielles, au manchon du régulateur.

Il en résulte qu'au cours du mouvement oscillatoire, le bras courbe s'incline sur la gâchette, et il vient agir sur elle pour une position du système qui dépend de la hauteur du manchon.

Le rappel de la manette du tiroir est fait, du même côté de l'axe que l'attaque, par une tringle verticale qui aboutit à un système pneumatique comprenant, comme l'a montré la figure 246, deux pistons étagés de diamètres différents. Le piston inférieur fait, en se levant, le vide au-dessous de lui dans un cylindre; il est vrai que le fond de ce cylindre est monté sur un ressort pour éviter tout heurt quand le piston arrive au bas de sa course; mais, quand il monte, le cylindre demeure étanche, le fond restant appliqué par la différence des pressions. Quant au piston supérieur, de forme annulaire entourant le premier, il se meut dans un *dash-pot* pour freiner la fin du rappel.

Le régulateur est du type de Watt, à lourdes boules, manchon non chargé et faible vitesse angulaire. Il est commandé par courroie. Une cataracte à huile sert à son amortissement.

Distributions mixtes. — *Société de Prague.* — Une combinaison, dont on trouve d'intéressants exemples dans la section autrichienne, pour la distribution de la vapeur dans les machines horizontales compound à cylindres parallèles, consiste à employer des soupapes du côté de la haute pression, ce qui permet la surchauffe, et, du côté de la basse pression, des tiroirs Corliss placés au bas du cylindre.

C'est ainsi qu'est établie l'unité de 240 chevaux exposée par l'ancienne maison Ruston, actuellement Société anonyme de Prague pour la construction de machines. — Ce moteur, qui porte sur la partie centrale de son arbre le volant-inducteur d'un alternateur Krizik à courants triphasés, a pour données principales :

$$D_1 = 0^m 37 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.9$$
$$D_2 = 0\ 60 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$
$$L = 0\ 70 \qquad$$
$$N = 120 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 80$$

Les figures 422 à 426 permettent d'en apprécier les dispositions. Les cylindres sont espacés de 3 mètres d'axe en axe. Ils sont pourvus l'un et l'autre d'enveloppes de vapeur complètes; l'enveloppe du petit cylindre reçoit la vapeur vive, celle du grand cylindre est alimentée par le réservoir intermédiaire. Les pistons sont supportés à l'ar-

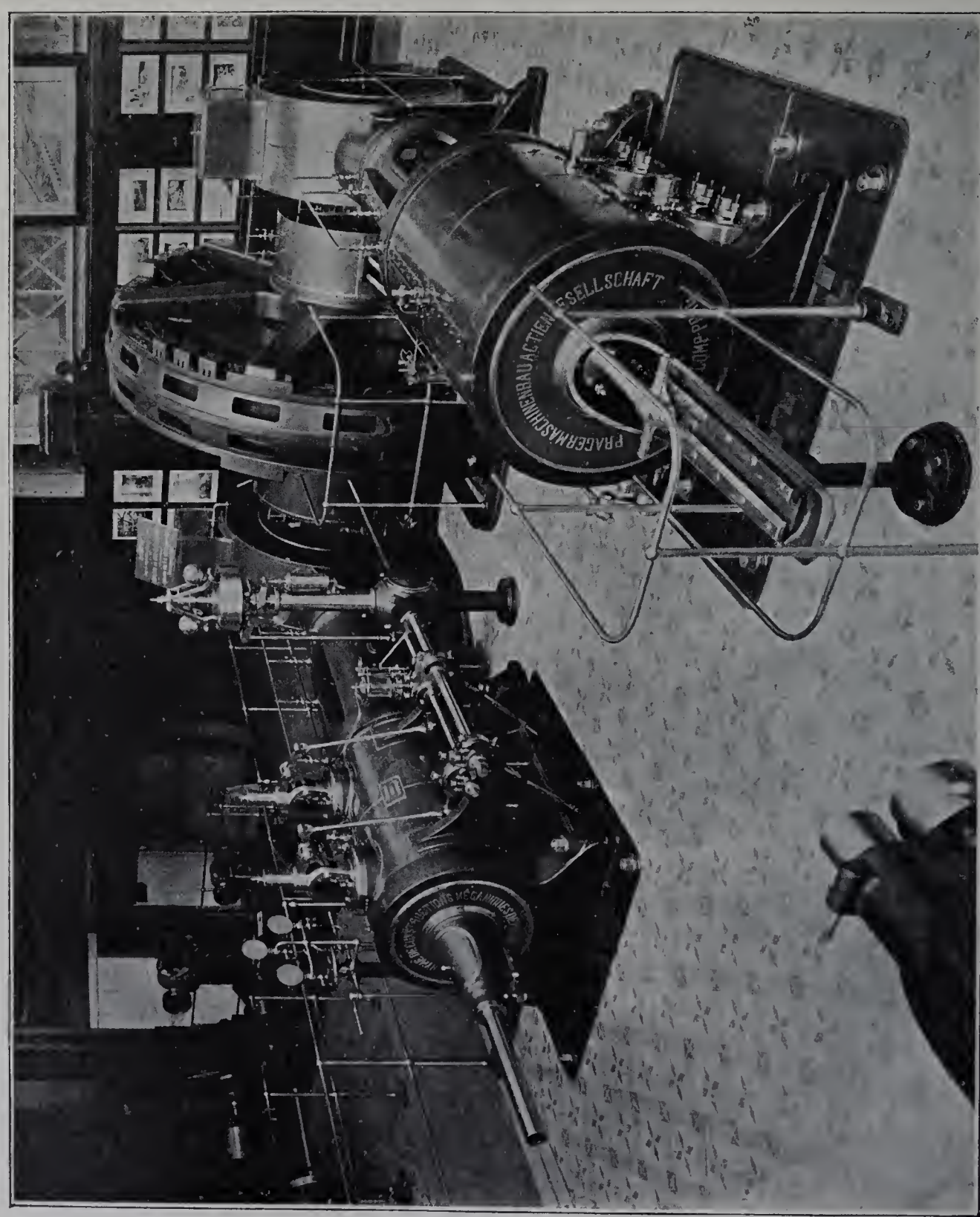


Fig. 422. — Machine de la Société de Prague pour la construction de machines (anciennement Ruston et Cie). — Vue d'ensemble.

rière par des contre-tiges que soutiennent des glissières; du côté de la basse pression, c'est une glissière plate avec contre-glissières latérales et l'extrémité de la contre-tige est disposée de manière qu'on puisse lui donner à conduire le balancier de commande d'une pompe à air.

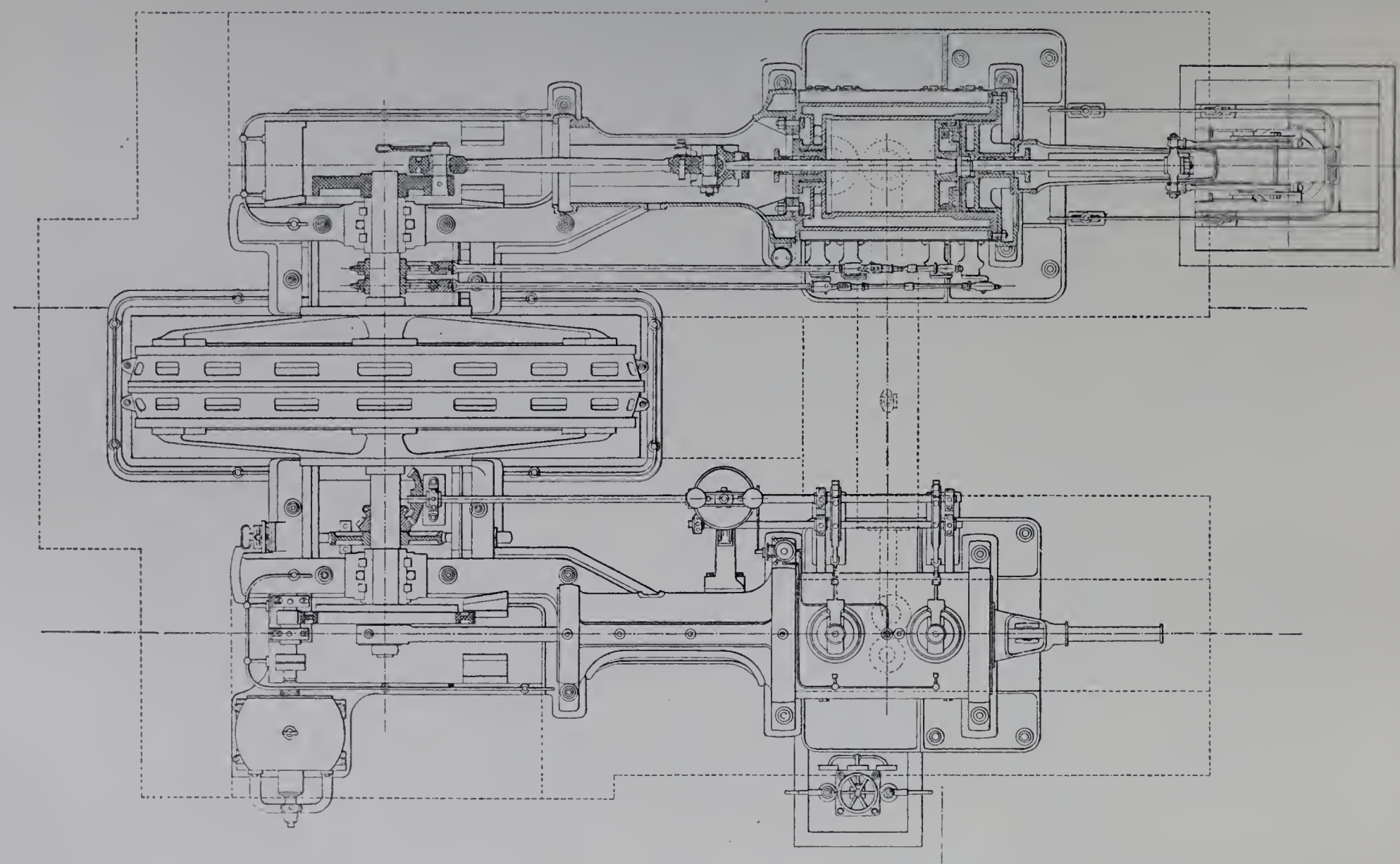


Fig. 423. — Machine de la Société de Prague. — Plan.

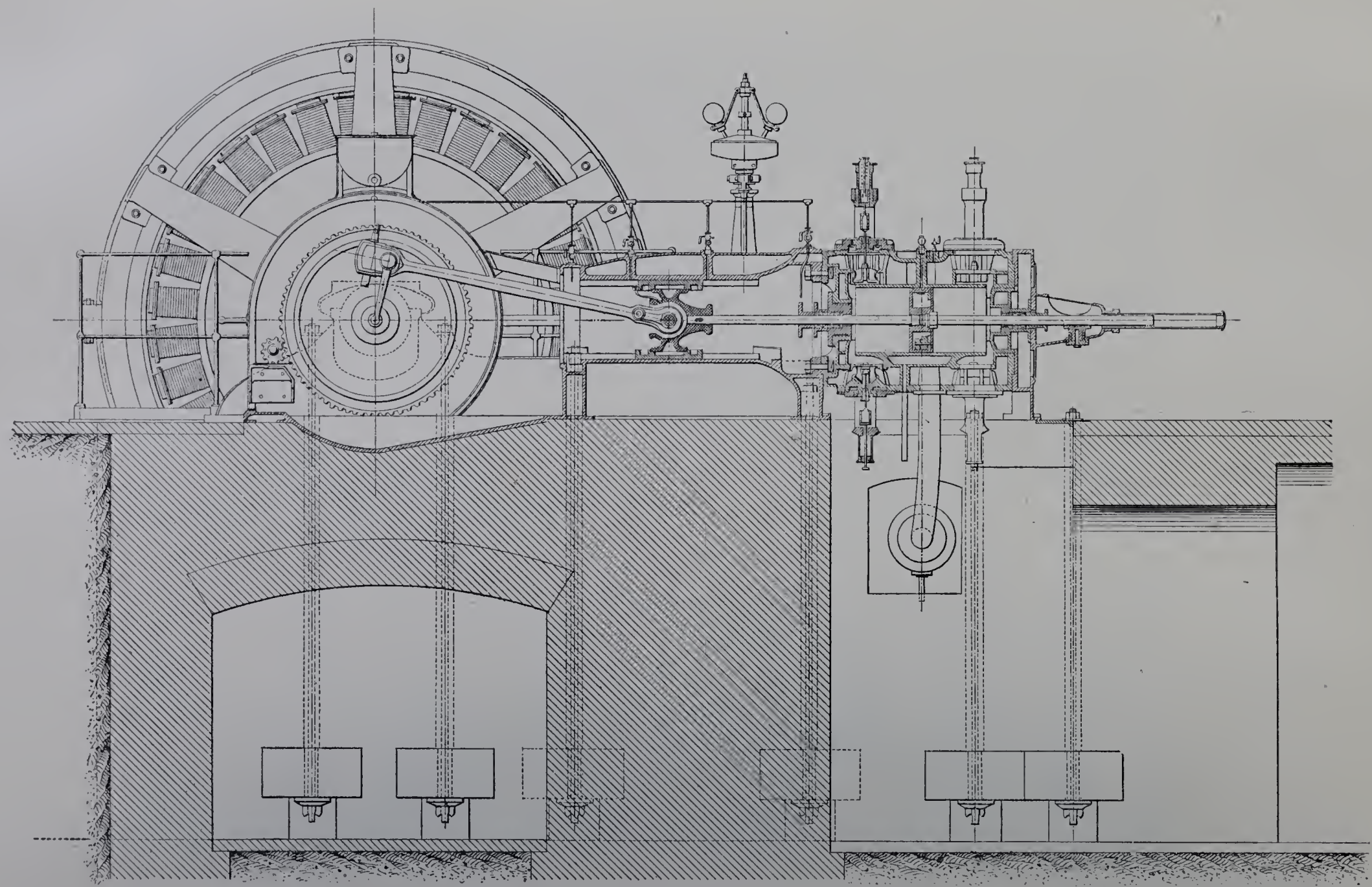


Fig. 424. — Coupe longitudinale du petit cylindre.

Les deux bielles motrices agissent sur des plateaux-manivelles dont les tourillons sont décalés de 90 degrés.

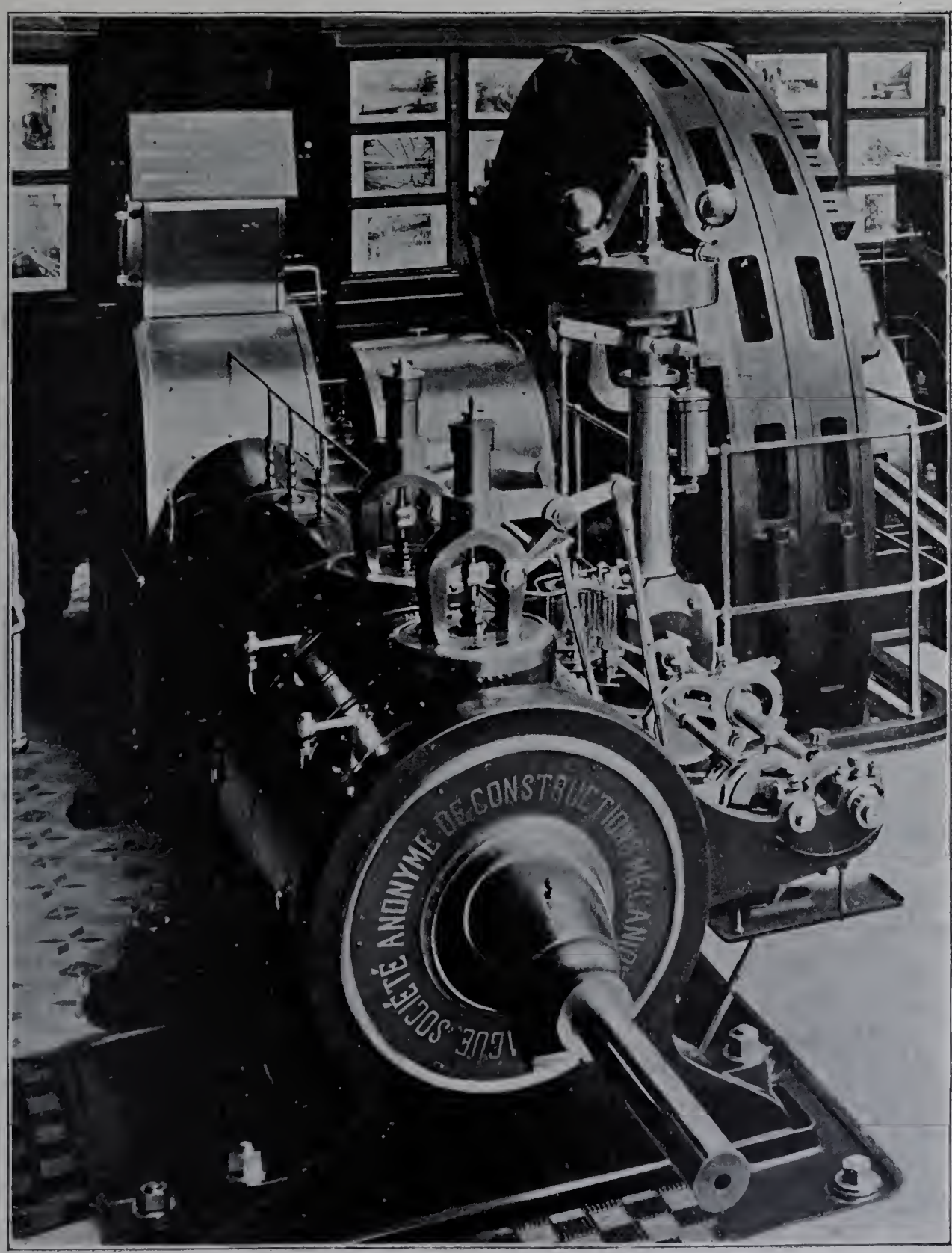


Fig. 425. — Vue du petit cylindre et du régulateur.

La distribution, au petit cylindre, est donnée par des soupapes à double siège. Le mécanisme qui les commande est du système Radovanovicz, dont la figure 236 a déjà défini le principe; les figures 422 et 425 en rappellent les dispositions. L'orientation

de l'arbre porte-coulisses, d'où dépend le degré d'admission, est placée sous la dépendance d'un régulateur de Proell commandé par engrenages.

Au grand cylindre, les tiroirs de distribution, du genre Corliss, sont groupés comme le montre la figure 426; ils sont actionnés au moyen de deux excentriques distincts, dont l'un gouverne l'admission et l'autre l'échappement.

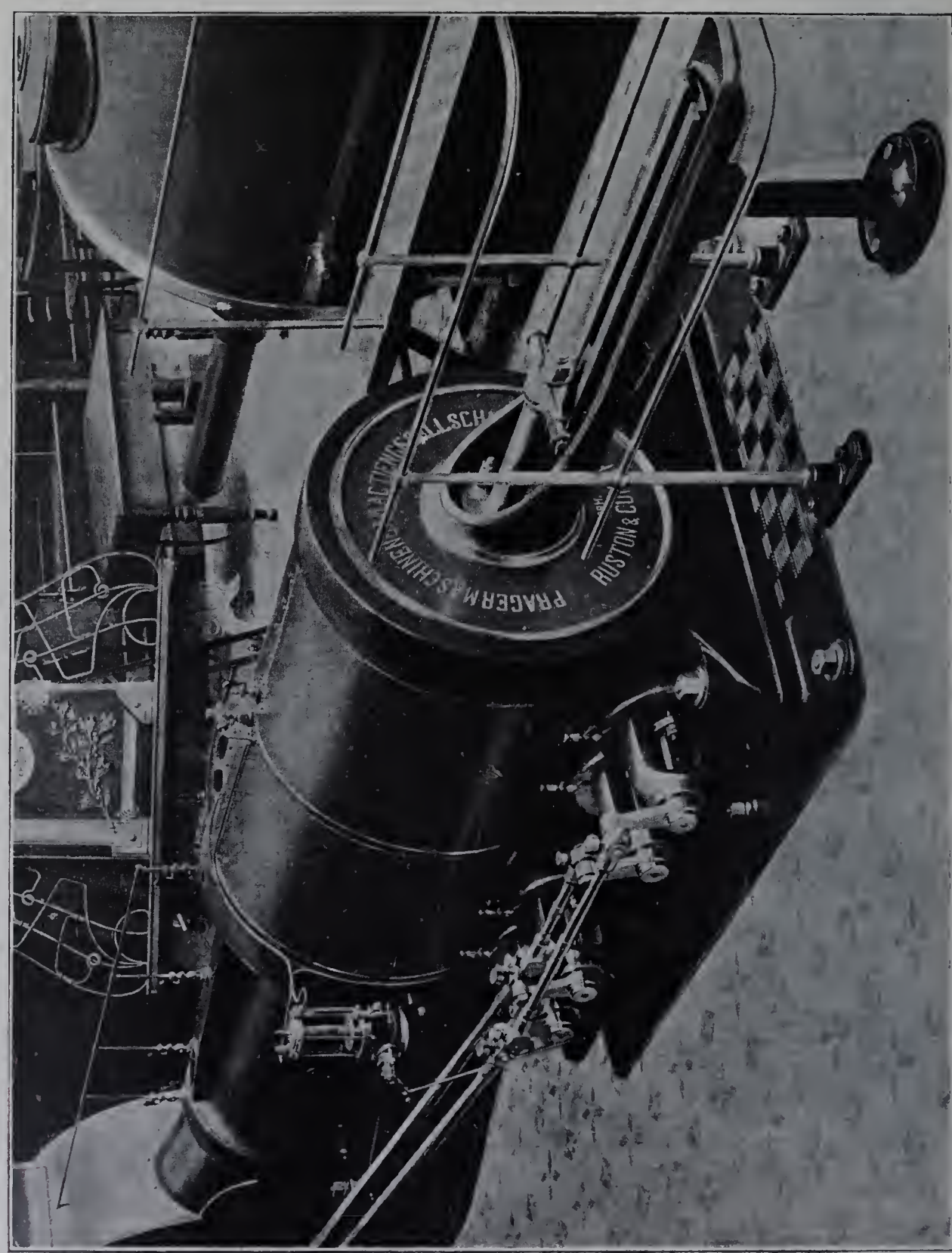


Fig. 426. — Vue du grand cylindre.

MM. Maerky, Bromovsky et Schulz. — Le moteur de 350 chevaux à 110 tours, présenté par MM. Maerky, Bromovsky et Schulz, de Prague, offre les dispositions d'ensemble dont rendent compte les figures 427 à 429.

Ses dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 46 \qquad \frac{L}{D_1} = 2$$
$$D_2 = 0\ 70 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.3$$
$$L = 0\ 90$$
$$N = 110 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 3$$

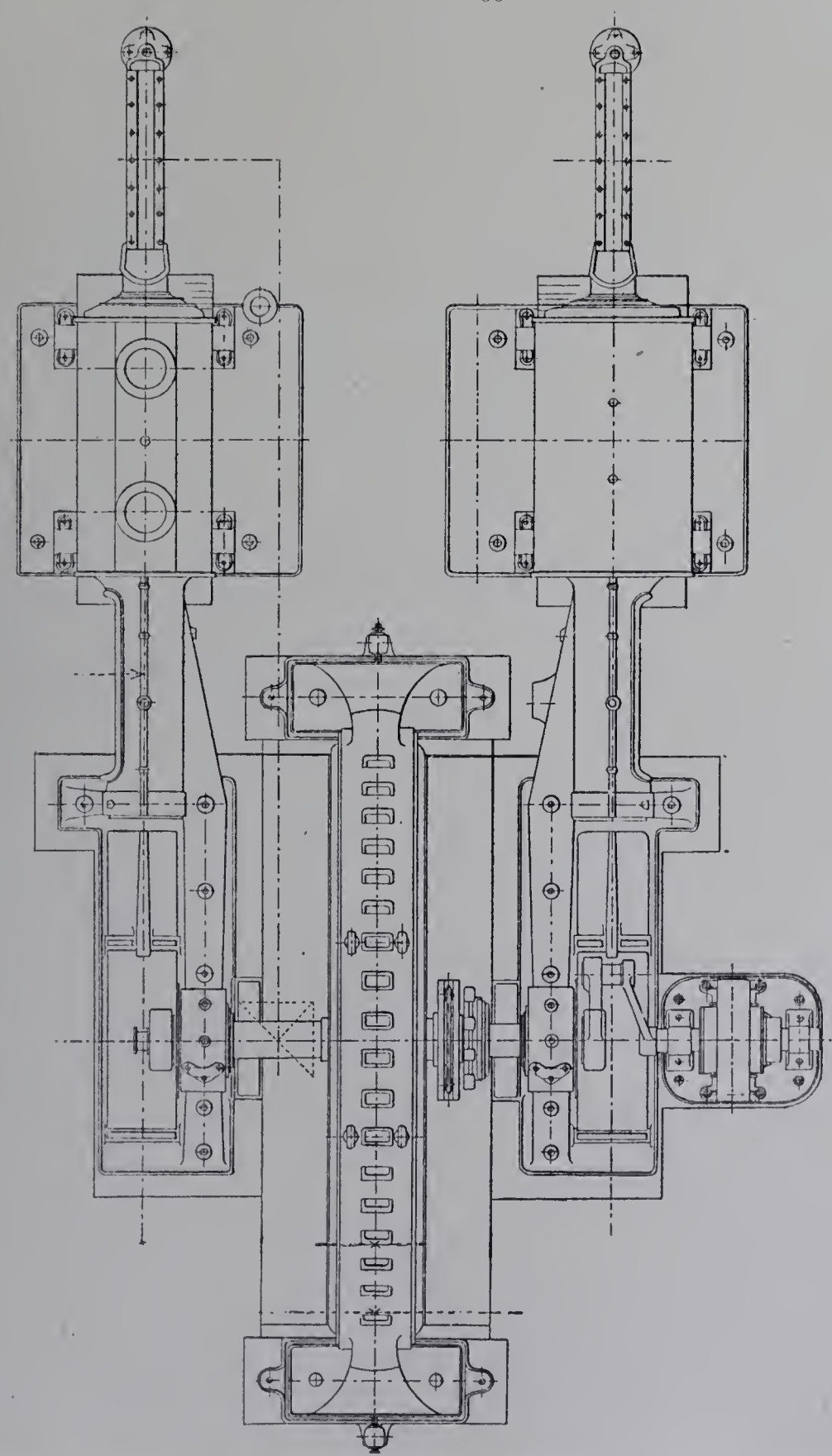


Fig. 427. — Machine de MM. Maerky, Bromovsky et Schulz, de Prague. — Plan.

Elle forme groupe électrogène avec un alternateur à courants triphasés des Sociétés réunies d'Électricité de Vienne, dont l'inducteur-volant, mesurant 3 m. 58 de

diamètre extérieur et pesant 10 tonnes, est monté sur le milieu de l'arbre. L'excitatrice, de 5,500 watts, est placée à côté du palier du grand cylindre et directement actionnée par une contre-manivelle à tourillon sphérique.

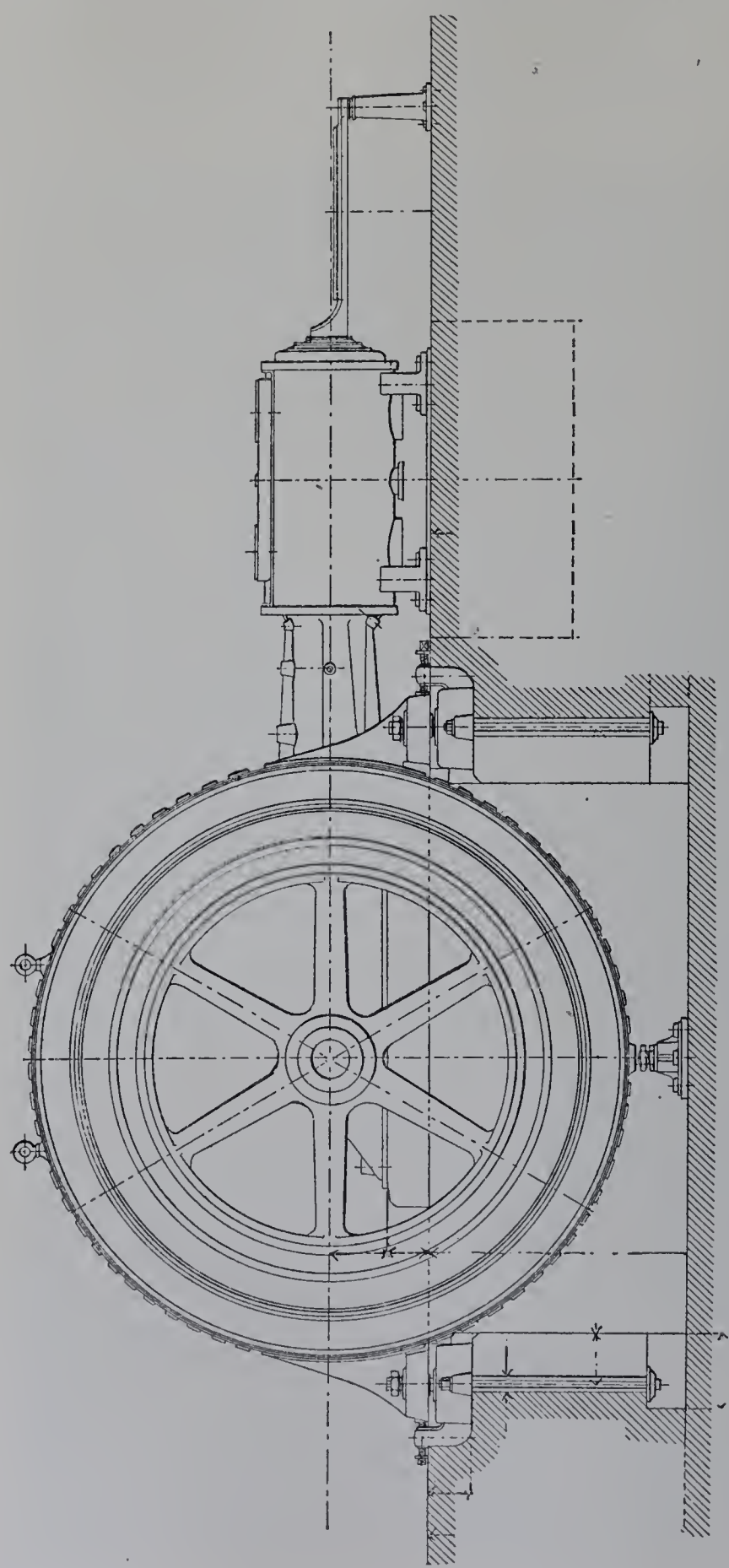


Fig. 428. — Élévation de l'alternateur-volant et du petit cylindre.

Construit pour être alimenté de fluide surchauffé à la pression effective de 9 kilogrammes par centimètre carré et à la température de 280 degrés, le petit cylindre n'a pas d'enveloppe de vapeur. Le conduit adducteur aboutissant aux chapelles d'admission est venu de fonte avec lui, mais sans paroi commune, à cause des dilatations. La distribution, du système Proell, est donnée par des soupapes à leviers roulants, sans déclic, commandées par des excentriques au moyen d'un arbre de distribution longitudinal. L'admission est placée sous la dépendance d'un régulateur à ressort modifiant l'action des excentriques : c'est le système de distribution dont la fig. 234 a déjà montré le détail. Ce régulateur, disposé sur le bâti, est actionné par engrenage hélicoïdal. Un dispositif, actionné électriquement, permet au préposé du tableau de distribution de faire varier, pendant la marche, la relation entre la charge et la vitesse, en vue de la mise en parallèle avec d'autres alternateurs.

Le cylindre à basse pression est entouré d'une enveloppe alimentée par la vapeur

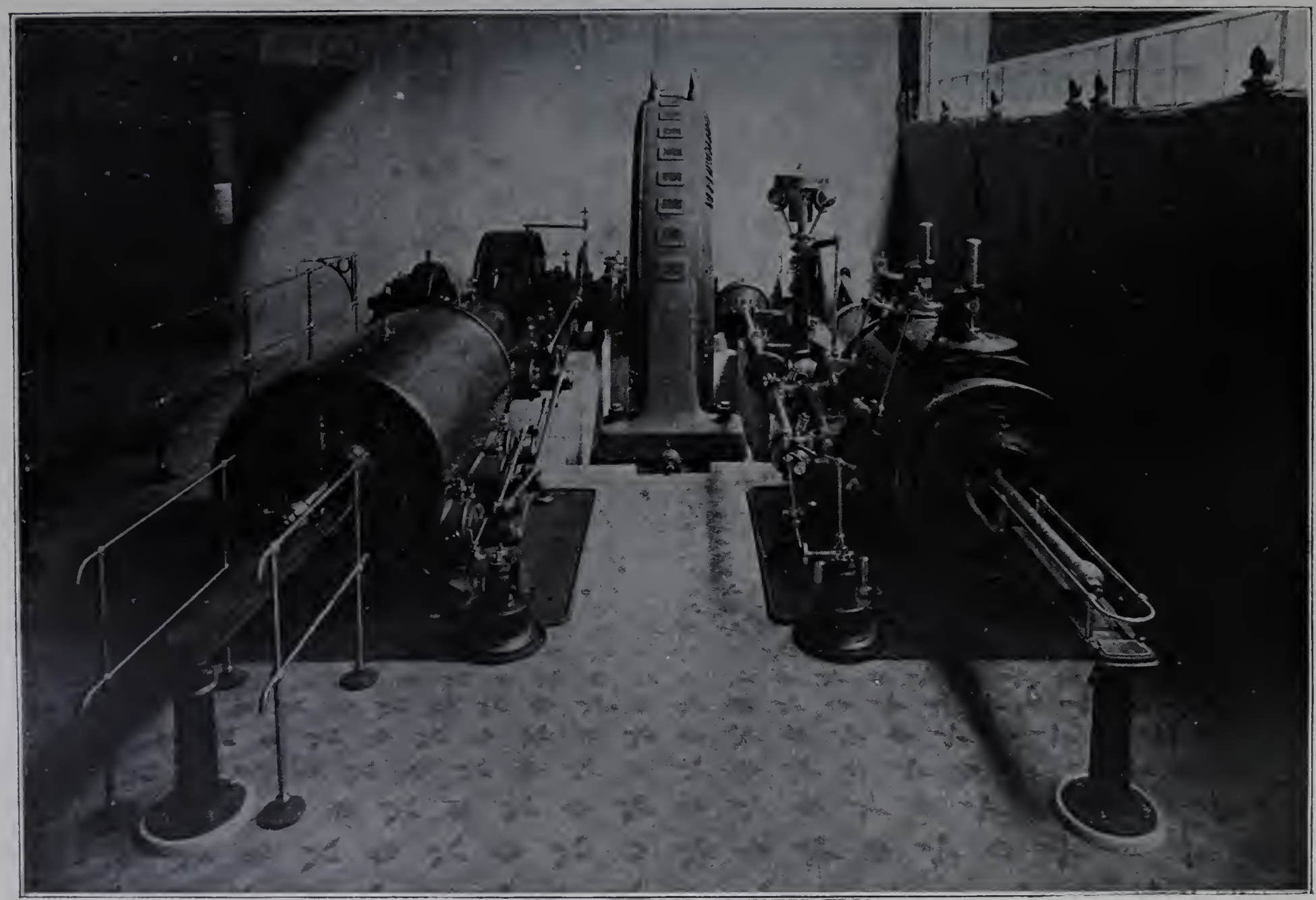


Fig. 429. — Vue d'ensemble de la machine de MM. Maerky, Bromovsky et Schulz.

venant du premier cylindre. Les organes de distribution, de ce côté, sont des tiroirs Corliss placés tous quatre au bas du cylindre et actionnés, par un relais de bielles, au moyen d'un excentrique réglable, afin qu'on puisse à volonté disposer la machine pour fonctionner avec ou sans condensation.

Ancienne maison Brand et Lhuillier. — C'est encore à peu près sur le même plan général qu'est établie la machine de 200 chevaux à 120 tours exposée par la Société

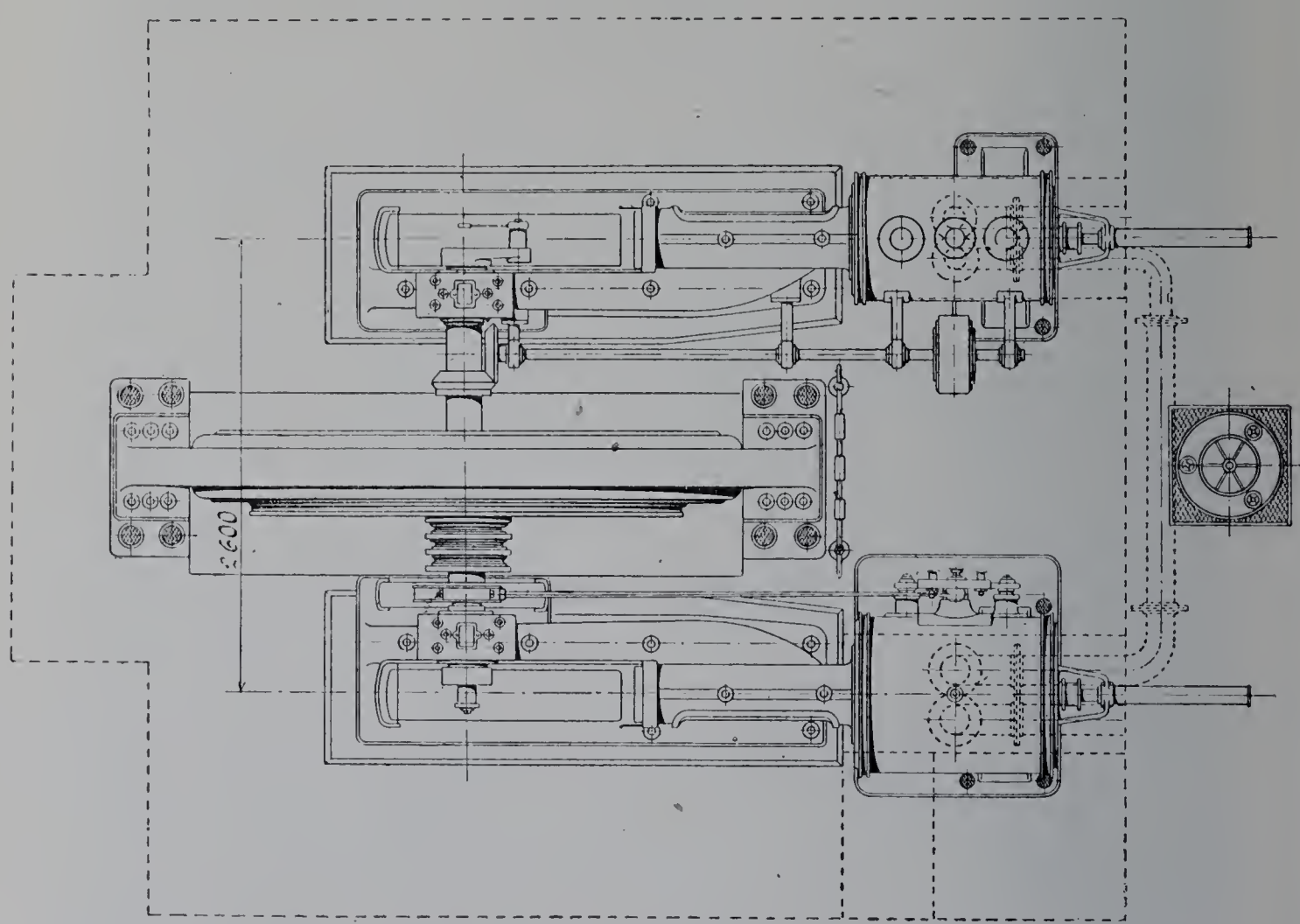


Fig. 430. — Machine de la Société anonyme, ci-devant Brand et Lhuillier, à Brünn. — Plan.

ANONYME POUR LA CONSTRUCTION DE MACHINES, ci-devant Brand et Lhuillier, à Brünn (fig. 430 à 433). Le tableau ci-après en résume les principales dimensions :

$D_1 = 0^m36$	$\frac{L}{D_1} = 1.7$
$D_2 = 0\ 55$	$\frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.33$
$L = 0\ 60$	
$N = 120$	$\frac{2LN}{60} = 2^m40$

La distribution au petit cylindre est donnée par des soupapes disposées comme l'a fait comprendre la fig. 233; pour éviter d'avoir des tiges glissant dans des presse-étoupe, tout l'attirail de chaque soupape, tige et ressort de rappel, est enfermé dans une boîte close, dont la paroi livre seulement passage à l'axe du levier chargé de

soulever la soupape; l'étanchéité de la pénétration est obtenue au moyen d'un collet obturateur.

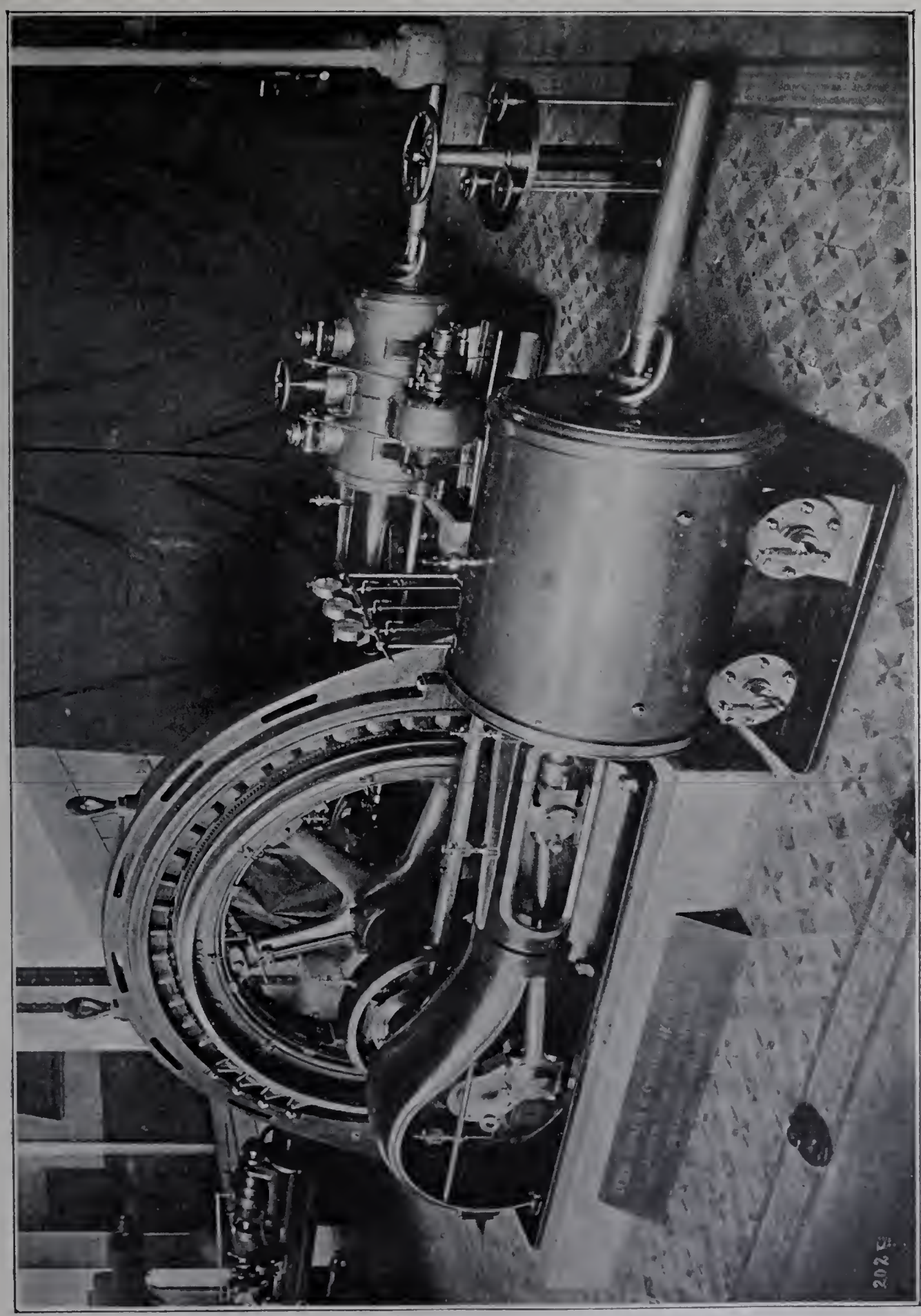


Fig. 431. — Vue de la machine Brand et Lhuillier.

La branche extérieure du levier est liée à la bielle de commande qui prend son mouvement sur l'arbre de distribution. Celui-ci est un arbre à cames; nous avons précédem-

ment représenté à grande échelle (fig. 239) le dispositif qui permet, pour chacune des soupapes d'admission, de faire varier la durée de la levée, entre les limites les plus étendues, sans altérer ni l'instant où cette levée commence, ni son amplitude. Ce système de détente variable est placé sous la dépendance immédiate d'un régulateur-tambour dont les dispositions sont dues, comme d'ailleurs l'ensemble de la distribution, à M. Knoller.

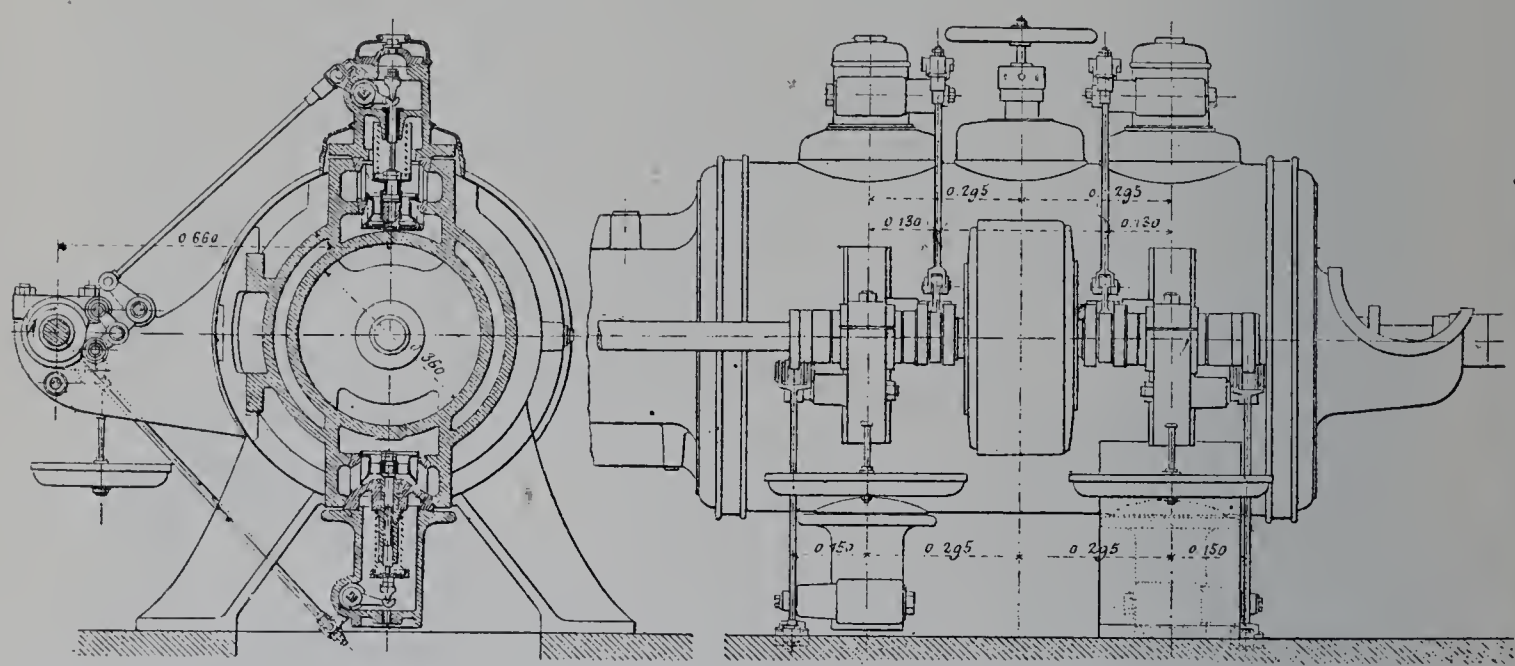


Fig. 432. — Coupe et élévation du petit cylindre (distribution Knoller).

Quant au cylindre de basse pression, il est muni de distributeurs qui se rattachent au genre Corliss en ce sens que ce sont des robinets oscillants; mais ces robinets sont au nombre de deux seulement, chacun d'eux servant à la fois à l'admission et à l'échappement.

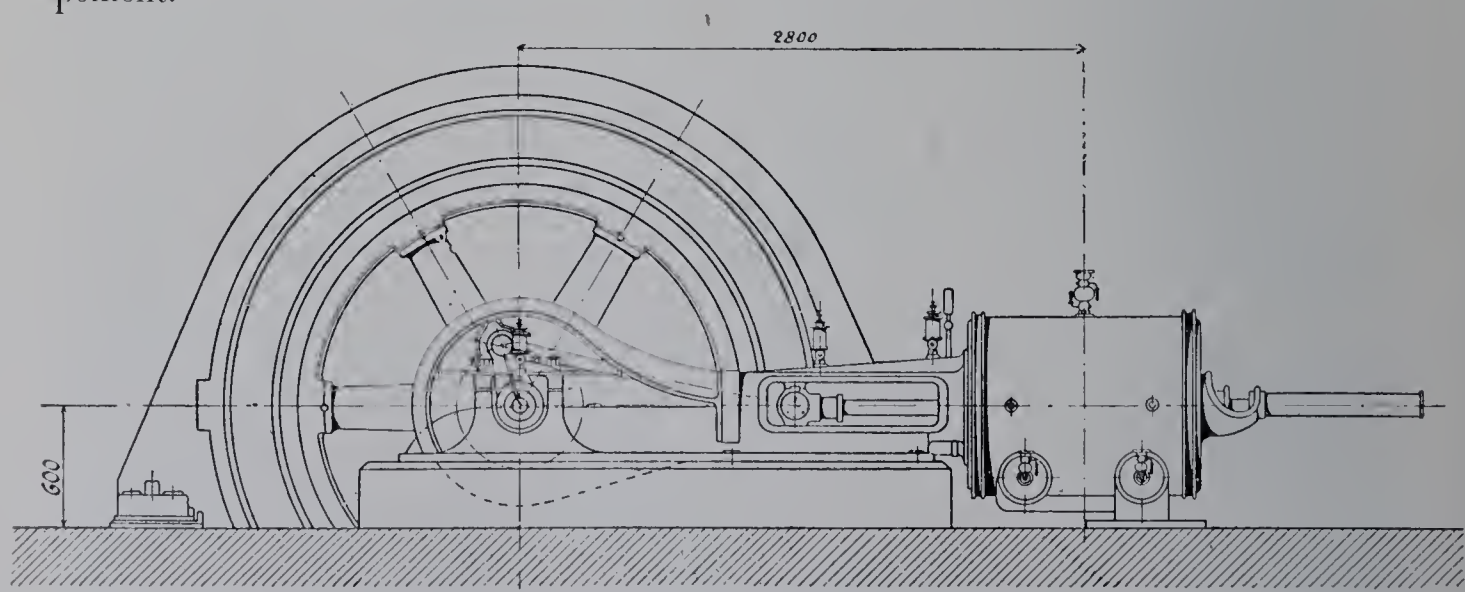
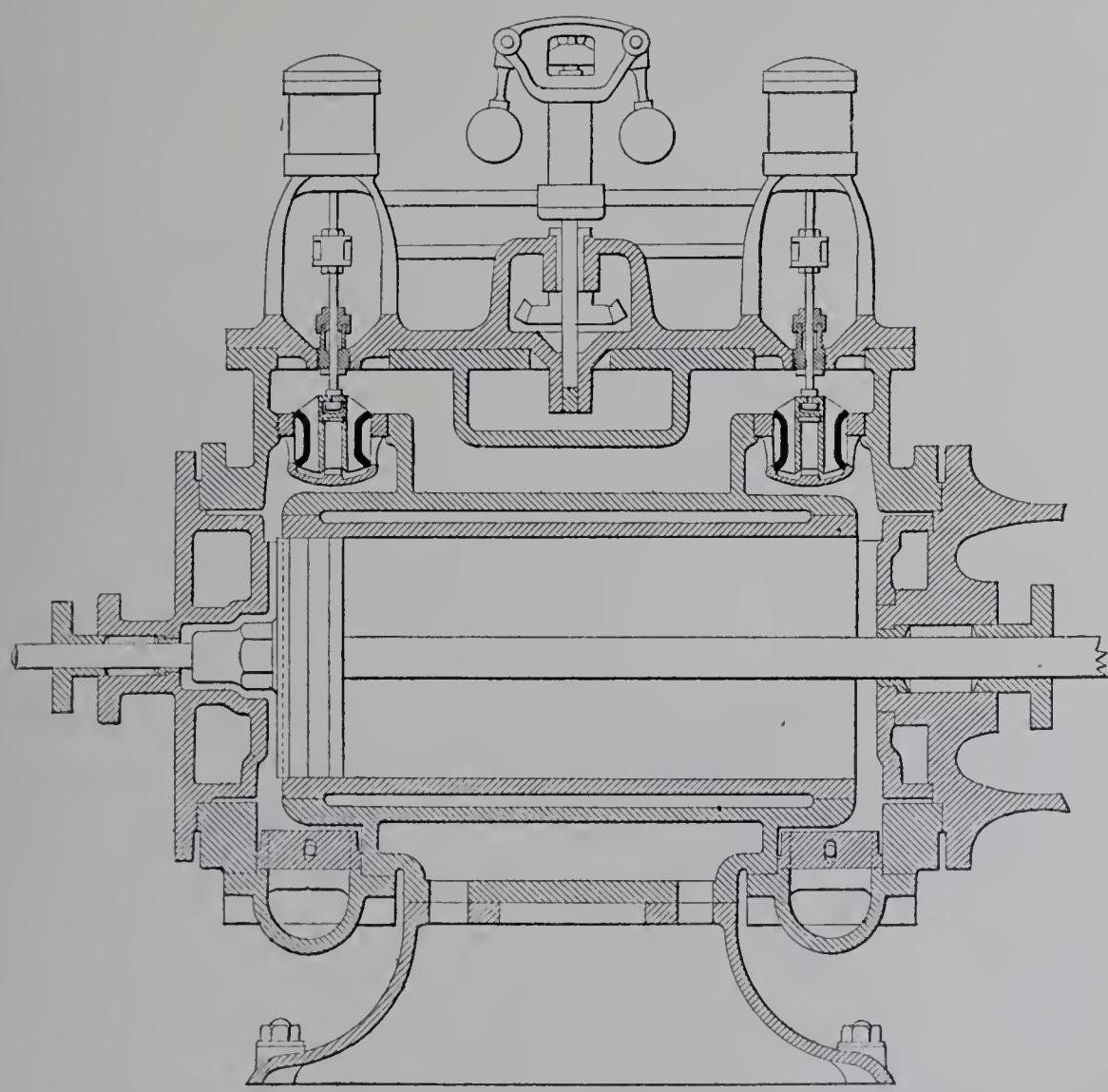


Fig. 433. — Élévation latérale, côté de la basse pression.

Société Schlick. — La machine à deux cylindres de 0 m. 32 et 0 m. 50 d'alésage, 0 m. 70 de course, exposée par la Société anonyme de fonderies et constructions mécaniques Schlick, de Budapest (Hongrie), sert de moteur à une pompe; sa vitesse

de rotation, qui peut varier de 90 à 140 tours, est normalement voisine de 100 tours par minute. Comme dans les machines précédentes, le cylindre de haute pression est pourvu d'une distribution par soupapes, avec mécanisme réalisant, sans déclenchement, une détente variable au régulateur; ce mécanisme est ici du type Widmann. Pour le grand cylindre, le système distributeur s'écarte au contraire des solutions qui viennent d'être décrites : c'est une distribution par tiroir.

Machine Robey. — Dans la section anglaise, une machine de 550 chevaux à 90 tours par minute, présentée par MM. Robey et Cie, de Lincoln, a ses deux cylindres munis de soupapes à double siège pour l'admission et de tiroirs plans à grille pour l'échappement. Quelques-unes des dispositions de ce moteur sont représentées par les fig. 434 à 438.



Fig, 434. — Machine Robey. — Coupe longitudinale du cylindre.

L'arbre, terminé par deux plateaux-manivelles décalés de 90 degrés, porte entre les paliers, distants de 3 m. 90 d'axe en axe, l'induit d'une dynamo à courant continu et un volant, juxtaposés l'un à l'autre. La dynamo, construite par MM. Scott et Mountain, de Newcastle, débite 1,440 ampères sous 230 volts, soit une puissance de 330 kilowatts. Le volant a seulement 3 m. 65 de diamètre, ce qui ne fait guère qu'une

vitesse périphérique de 17 mètres par seconde; par contre, il a 0 m. 71 de largeur et pèse 20 tonnes. Les données du moteur sont :

$$D_1 = 0^m 51 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.1$$
$$D_2 = 0\ 89 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.1$$
$$L = 1\ 07 \qquad$$
$$N = 90 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 84$$

La pression effective d'admission est de 9 kilogrammes par centimètre carré. La machine est destinée à recevoir de la vapeur modérément surchauffée.

Ses paliers font corps avec un très robuste bâti en forme de cadre, qui les relie l'un à l'autre et sert d'assise à la partie fixe de la dynamo. Les cylindres sont à enveloppe de vapeur autour de la paroi cylindrique. La distribution est donnée à chaque cylindre par un arbre longitudinal sur lequel sont calés quatre excentriques, deux pour l'admission et deux pour l'échappement.

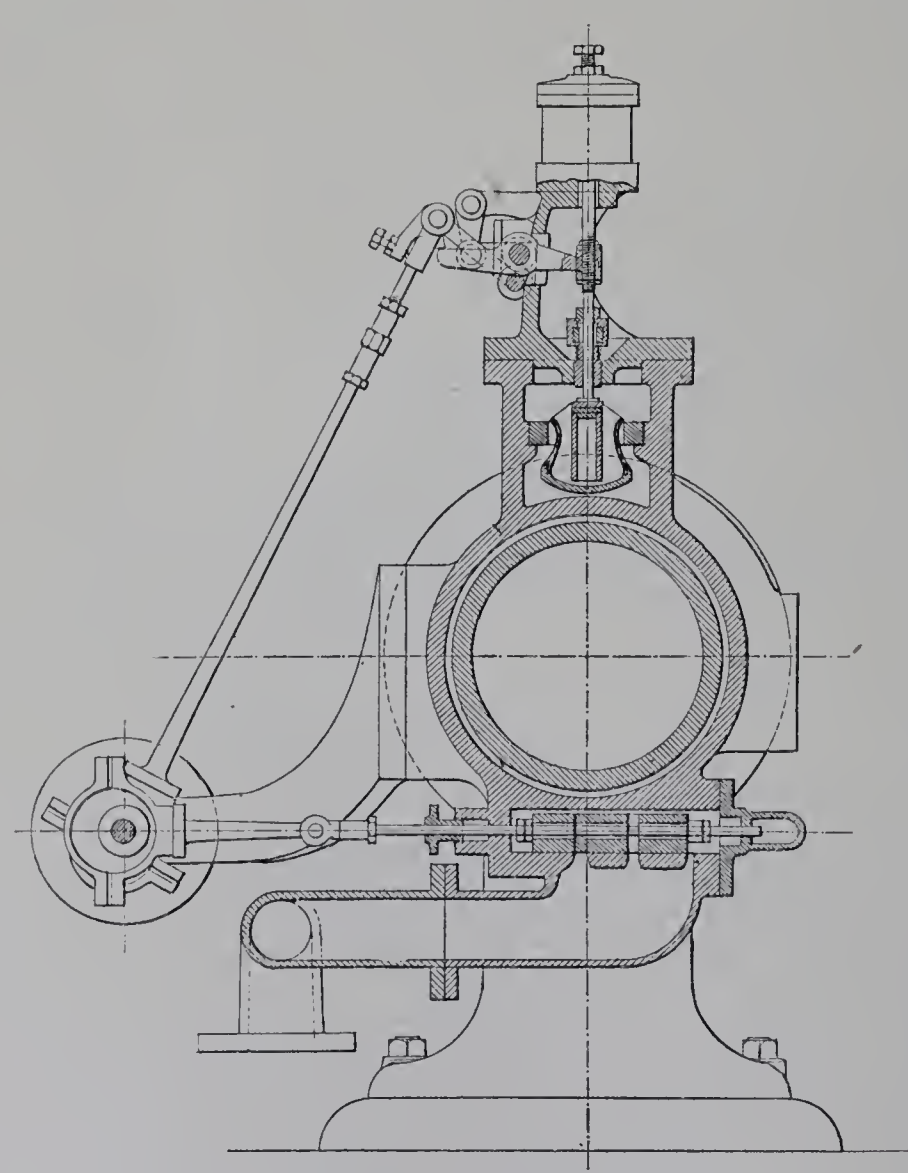


Fig. 435. — Coupe transversale.

Les soupapes d'admission ont un mécanisme à déclenchement. Chacune d'elles, rappelée sur son siège par la charge directe d'un ressort auquel est adjoint dans la même boîte un *dash-pot* à air, est soulevée au moyen d'un levier, dont la queue est la pièce menée de l'enclenchement. La pièce menante est un cliquet articulé sur l'extrémité de la tige d'excentrique, extrémité dont le mouvement est guidé par une bielle la reliant à un point fixe. Les deux touches en prise, dont les bords ont pour trajectoires respectives deux arcs de cercle, glissent l'une sur l'autre au cours de leur mouvement commun et, au point où les deux arcs de cercle se coupent, la touche menante lâche l'autre. L'emploi d'un cliquet pour porter la touche menante a simplement pour objet de lui permettre de revenir en prise.

Au petit cylindre, l'admission est placée sous la dépendance d'un régulateur, de la

manière suivante. Les axes des leviers des deux soupapes ne sont pas fixés d'une manière invariable; ils font partie d'une tige horizontale commune qui, par un jeu de biellettes, est susceptible d'être un peu avancée ou reculée parallèlement à elle-même : chacun des deux leviers se met ainsi plus ou moins largement en prise avec son cliquet. On voit que la régulation automatique dépend d'une variation de la trajectoire, non de la touche menante, mais de la touche menée.

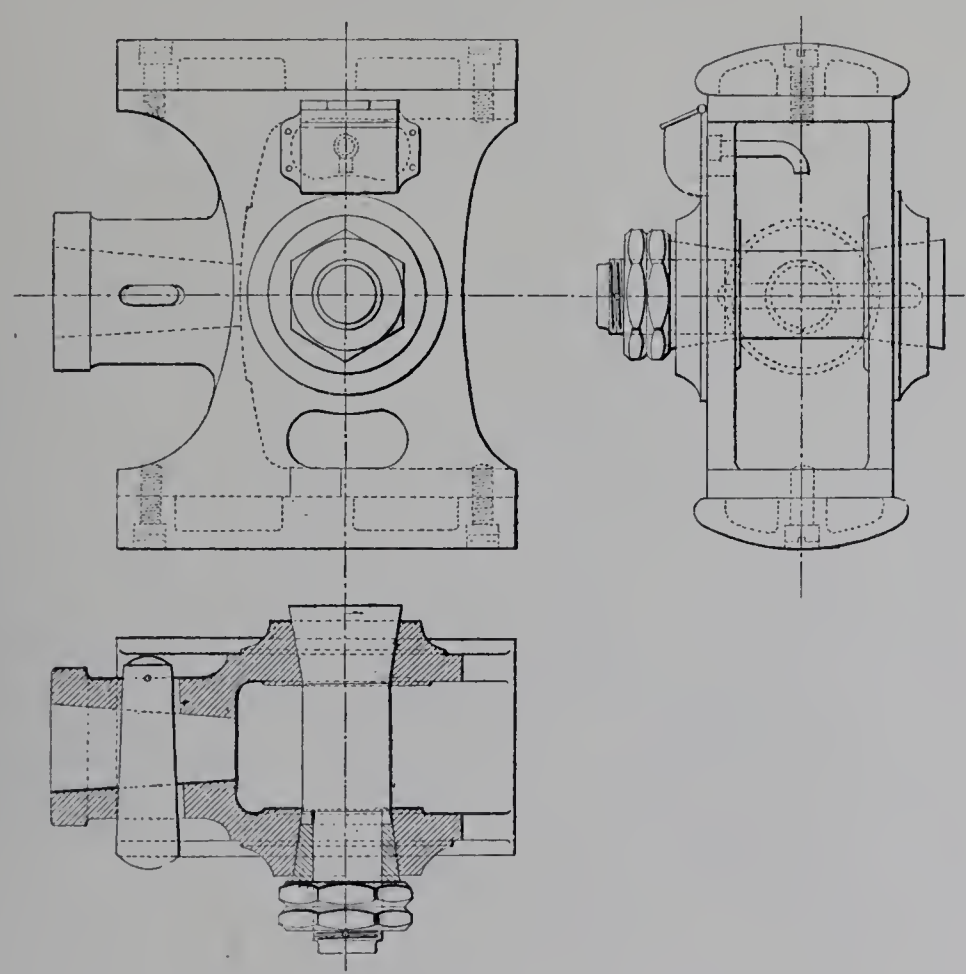


Fig. 436 à 438. — Détails de la crosse.

Le régulateur, du système Richardson, offre des dispositions intéressantes, bien en rapport avec l'application. Ce qui importe, dans la conduite d'une dynamo à courant continu, n'est pas de maintenir la vitesse invariable, mais de la régler de manière que, la force électro-motrice ayant constamment la valeur nécessitée par le débit, la différence de potentiel aux bornes demeure constante. En conséquence, le mécanisme modificateur de l'admission est bien commandé par le manchon d'un régulateur à boules, mais ce manchon, alourdi par un levier à poids, peut être plus ou moins déchargé par l'action d'un solénoïde dont l'enroulement, fait de fil fin, est disposé en dérivation sur les barres du tableau de distribution.

Il y a aussi un autre solénoïde, en série avec le circuit extérieur, qui supprimerait toute admission en cas d'interruption du courant.

Machines diverses à distributeurs plans. — La Société des Établissements Weyher et Richemond a établi sur le type *cross compound* une machine de 1,000 chevaux à laquelle

IMPRIMERIE NATIONALE.

elle a appliqué la distribution par obturateurs plans appliqués sur les fonds, dont nous avons déjà parlé à propos des moteurs monocylindriques. Les données de la machine sont :

$$D_1 = 0^m 61 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.1$$
$$D_2 = 1\ 00 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.7$$
$$L = 1\ 30 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m 1$$
$$N = 95$$

La puissance de 1,000 chevaux correspond à une pression initiale de 10 kilogrammes par centimètre carré et à une admission de 25 p. 100 au petit cylindre, ce qui donne une expansion totale de 11.

MM. Chaligny et Cie, de Paris, exposent un moteur de 170 chevaux à 110 tours par minute, qui rentre bien dans la catégorie des machines compound horizontales à cylindres parallèles, mais dont la disposition générale, dérivée de celle des appareils locomobiles, diffère des types qui viennent d'être passés en revue : les deux cylindres, au lieu d'être écartés de toute la longueur d'un arbre droit, sont juxtaposés l'un à l'autre, les bielles motrices agissent sur un arbre doublement coudé (fig. 439 à 444). Les cylindres et leurs enveloppes sont venus de fonte en une seule pièce; ce bloc est boulonné à un solide bâti, de forme symétrique, qui porte les deux glissières côte à côte et avec lequel font corps trois paliers encadrant les deux parties coudées de l'arbre. Le décalage des manivelles est de 90 degrés. L'arbre se prolonge, du côté du grand cylindre par une partie droite sur laquelle est calée la poulie-volant et dont l'extrémité repose dans un quatrième palier.

Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 36 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.4$$
$$D_2 = 0\ 58 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$
$$L = 0\ 50 \qquad \frac{2LN}{60} = 1^m 8$$
$$N = 110$$

La distribution est à simples tiroirs. Au petit cylindre, le mouvement du tiroir est commandé par l'intermédiaire d'une coulisse (fig. 443 et 444) qui permet de faire varier à la main le degré d'admission. Quant à la régulation automatique, donnée par un régulateur à ressorts dont la disposition est visible sur la fig. 439, c'est sur la pression d'admission qu'elle s'exerce, au moyen d'une valve équilibrée interposée sur l'arrivée de vapeur.

MM. Richard Garrett et Fils, de Leiston (Angleterre), présentent aussi une machine compound horizontale à deux cylindres juxtaposés, dont le type est analogue à celui des appareils locomobiles ou mi-fixes. Sa puissance est de 40 à 50 chevaux effectifs, à la vitesse de 130 tours par minute. Les cylindres mesurent 0 m. 23 et 0 m. 33 d'alésage; la course est de 0 m. 35. L'arbre coudé, de 0 m. 11 de diamètre, à mani-

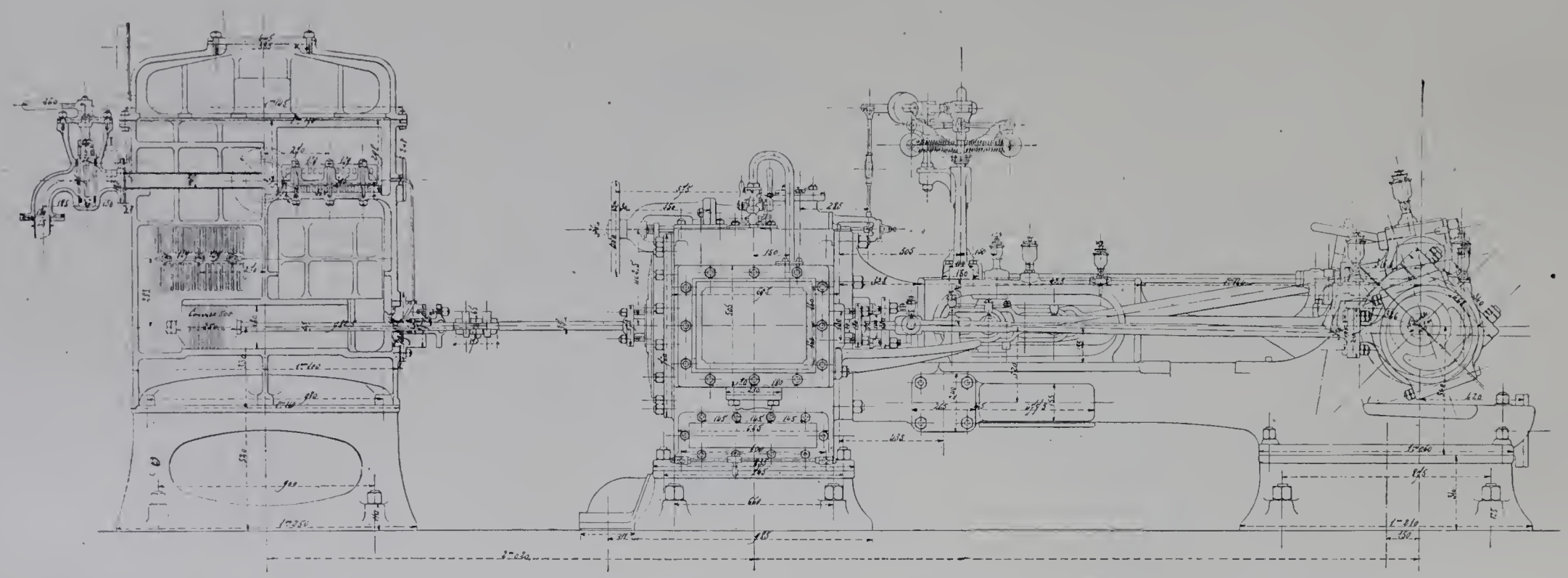


Fig. 439. — Machine fixe compound horizontale de MM. Chaligny et Cie. — Élévation de la machine, avec coupe du condenseur.

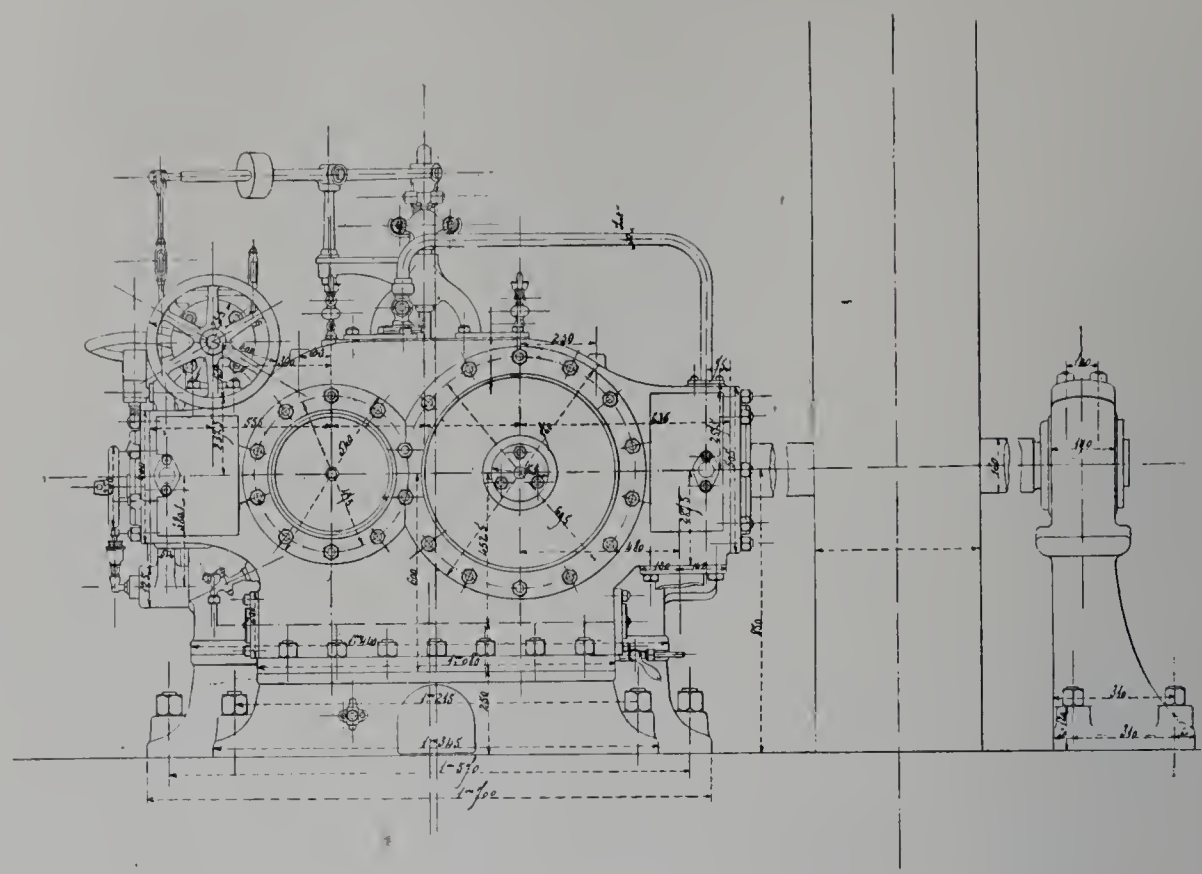


Fig. 440. — Elévation transversale.

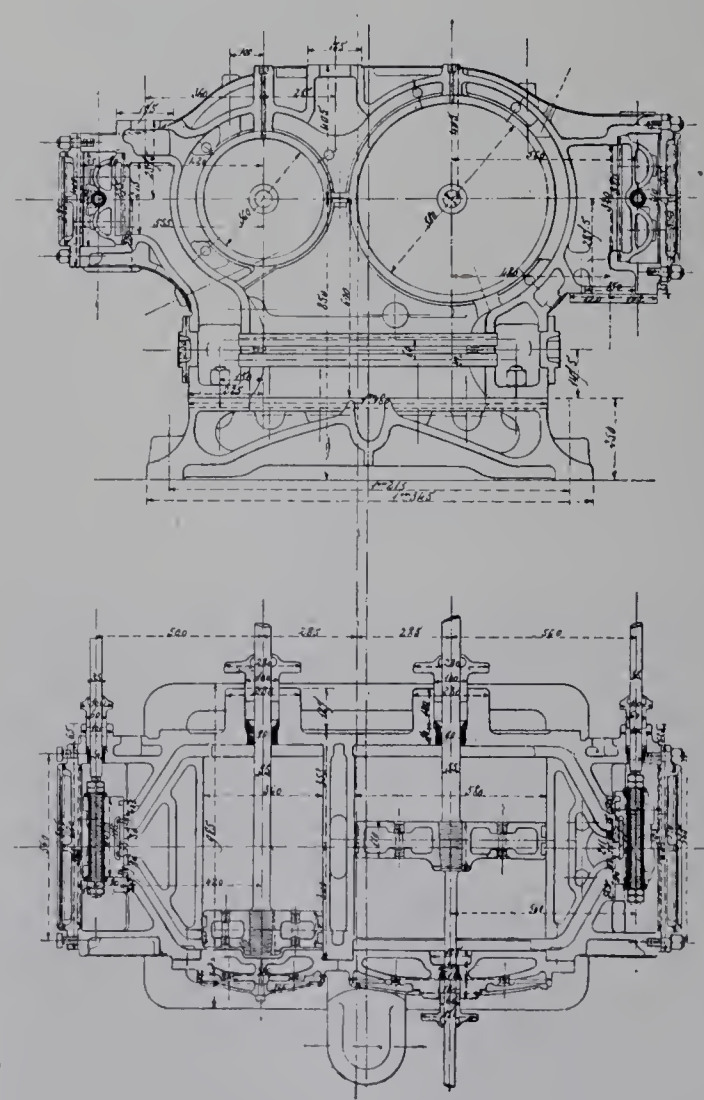


Fig. 441 et 442. — Coupes des cylindres.

velles équilibrées, est en acier Siemens-Martin. La machine est assise sur un socle en partie composé de fortes cornières et formant plaque de fondation générale. La distribution a lieu au moyen de tiroirs plans; au petit cylindre la détente est variable au régulateur (système Turner-Hartnell.)

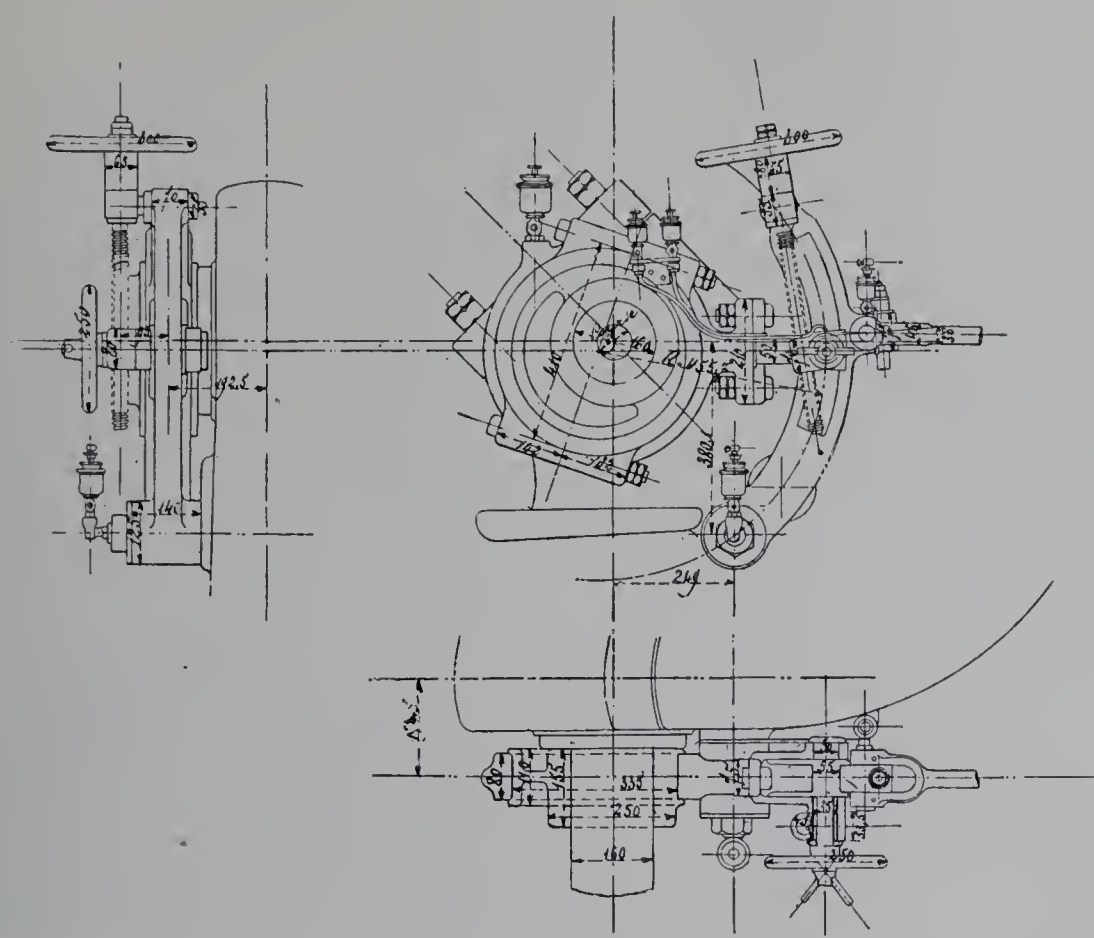


Fig. 443 et 444. — Commande du tiroir du petit cylindre.

B. **Types verticaux.** — Les moteurs compound verticaux sont susceptibles de deux modes généraux d'installation. Dans l'un, dérivé du type des machines marines, les deux cylindres sont placés côte à côte au-dessus d'un arbre-vilebrequin; les bâtis juxtaposés, supportant ces cylindres et les reliant aux paliers de manivelle, sont assis sur un même massif de fondation; c'est sur les prolongements de l'arbre, au delà de ces paliers, que prennent place le volant, la poulie motrice ou la partie tournante de la génératrice d'électricité. Dans l'autre mode d'installation, l'arbre est droit; c'est sur sa partie centrale qu'est calé le volant et appliquée la résistance; les manivelles motrices sont aux deux bouts et les bâtis, portant chacun son cylindre, se dressent de part et d'autre de l'ensemble, comme les deux montants d'un portique dont la traverse serait constituée par le réservoir intermédiaire.

Le premier mode donne des facilités spéciales pour assurer la stabilité et équilibrer les réactions; il réduit au minimum le poids du réservoir intermédiaire et l'importance des superstructures accessoires. Le second évite de couder l'arbre; il rend minimum le nombre des paliers, ce qui est un bien ou un mal suivant le poids des pièces, la longueur de la ligne d'arbre et la précision du montage.

Machines à cylindres juxtaposés. — Deux machines de 1,200 à 1,500 chevaux ont été établies d'après le premier système, l'une, dans la Section française, par la Société

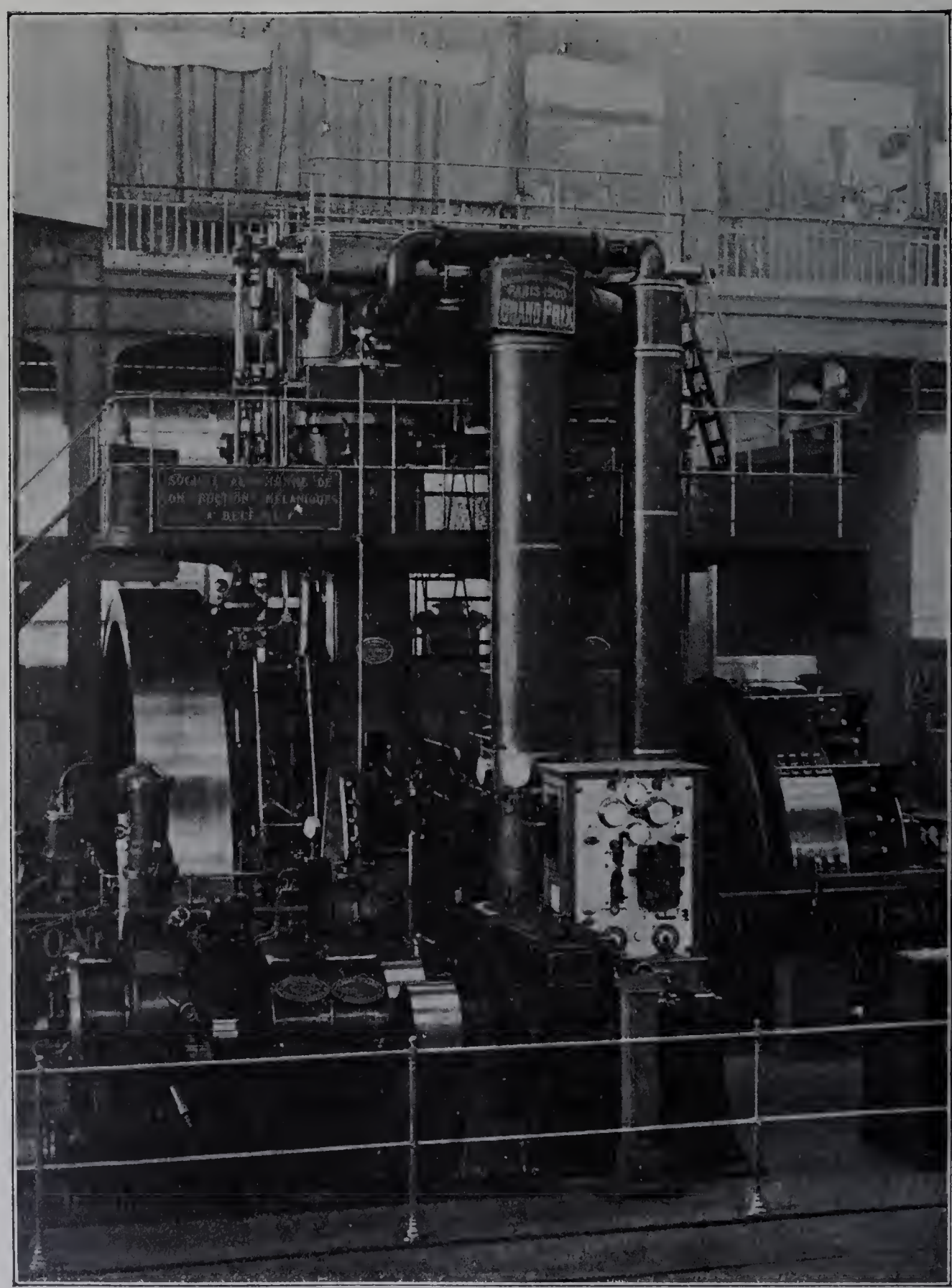


Fig. 445. — Machine verticale de la Société alsacienne de constructions mécaniques. — Vue d'ensemble. (En avant est un groupe électrogène ayant pour moteur une turbine de Laval.)

alsacienne de constructions mécaniques, l'autre, dans la Section allemande, par les Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg.

Groupe électrogène de la Société alsacienne. — La machine verticale de la Société alsacienne (fig. 445 à 453) appartient à un type bien connu des ingénieurs de Paris : c'est celui des groupes électrogènes de l'usine du quai Jemmapes, exploitée par la Compagnie parisienne de l'air comprimé.

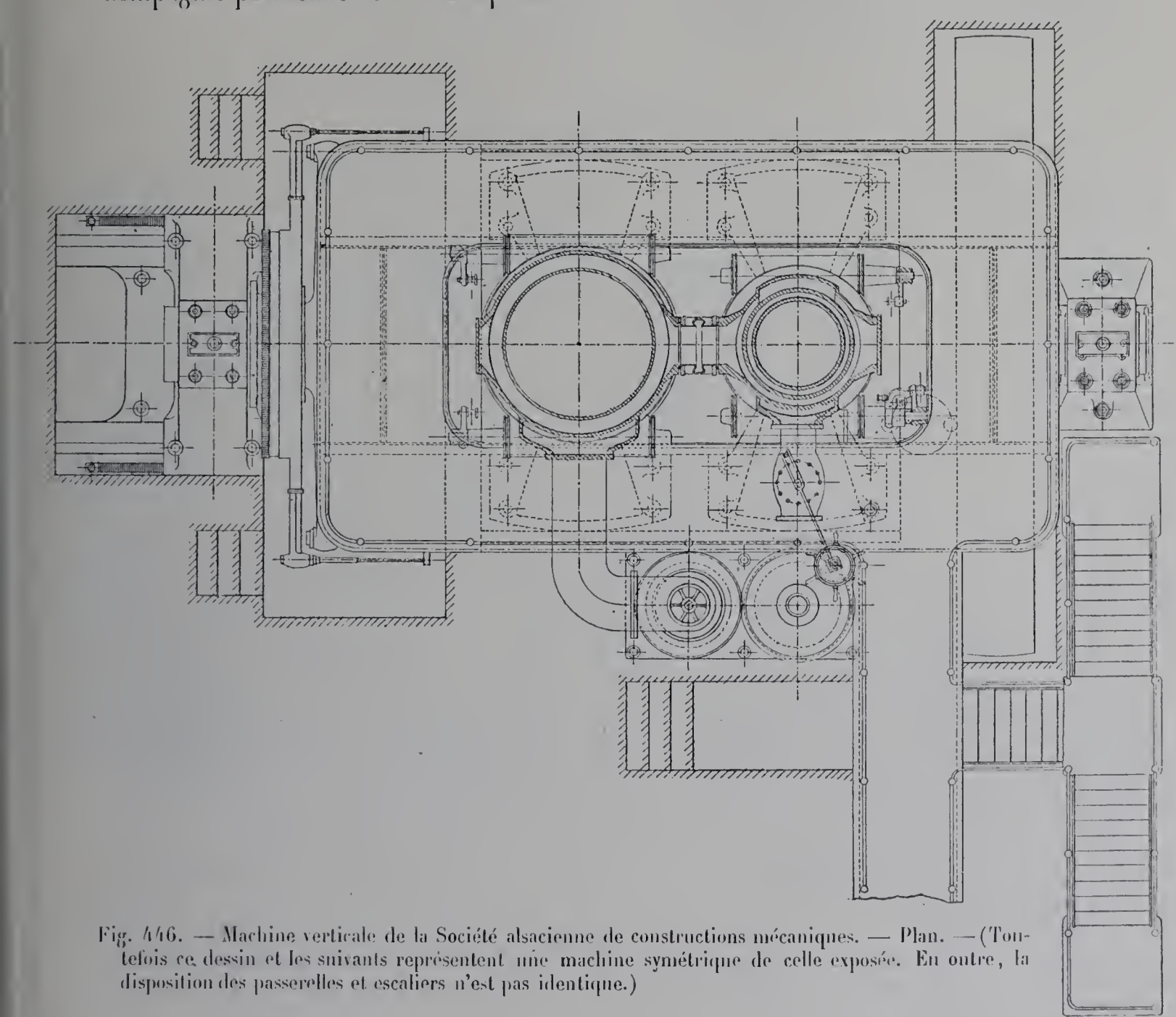


Fig. 446. — Machine verticale de la Société alsacienne de constructions mécaniques. — Plan. — (Toutefois ce dessin et les suivants représentent une machine symétrique de celle exposée. En outre, la disposition des passerelles et escaliers n'est pas identique.)

Les données générales comportent des valeurs modérées pour la vitesse angulaire de l'arbre et les vitesses linéaires des pistons, comme le montrent les chiffres suivants :

$$D_1 = 0^m 80 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.50$$
$$D_2 = 1\ 35 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.85$$
$$L = 1\ 20 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 80$$
$$N = 70$$

Alimentée sous la pression de 8 kilogrammes par centimètre carré, la machine développe 1.200 chevaux indiqués avec une admission de 23 p. 100 au petit cylindre,

correspondant à une expansion totale de 12. Elle fait tourner l'induit d'une dynamo à courant continu de 750 kilowatts, dont le débit à pleine charge peut varier de 1,250 ampères sous 600 volts à 1,500 ampères sous 500 volts; c'est, selon le type ordinaire des dynamos de cette maison, un induit extérieur aux inducteurs et se servant de collecteur à lui-même; il mesure 3 m. 81 de diamètre et pèse 21 tonnes.

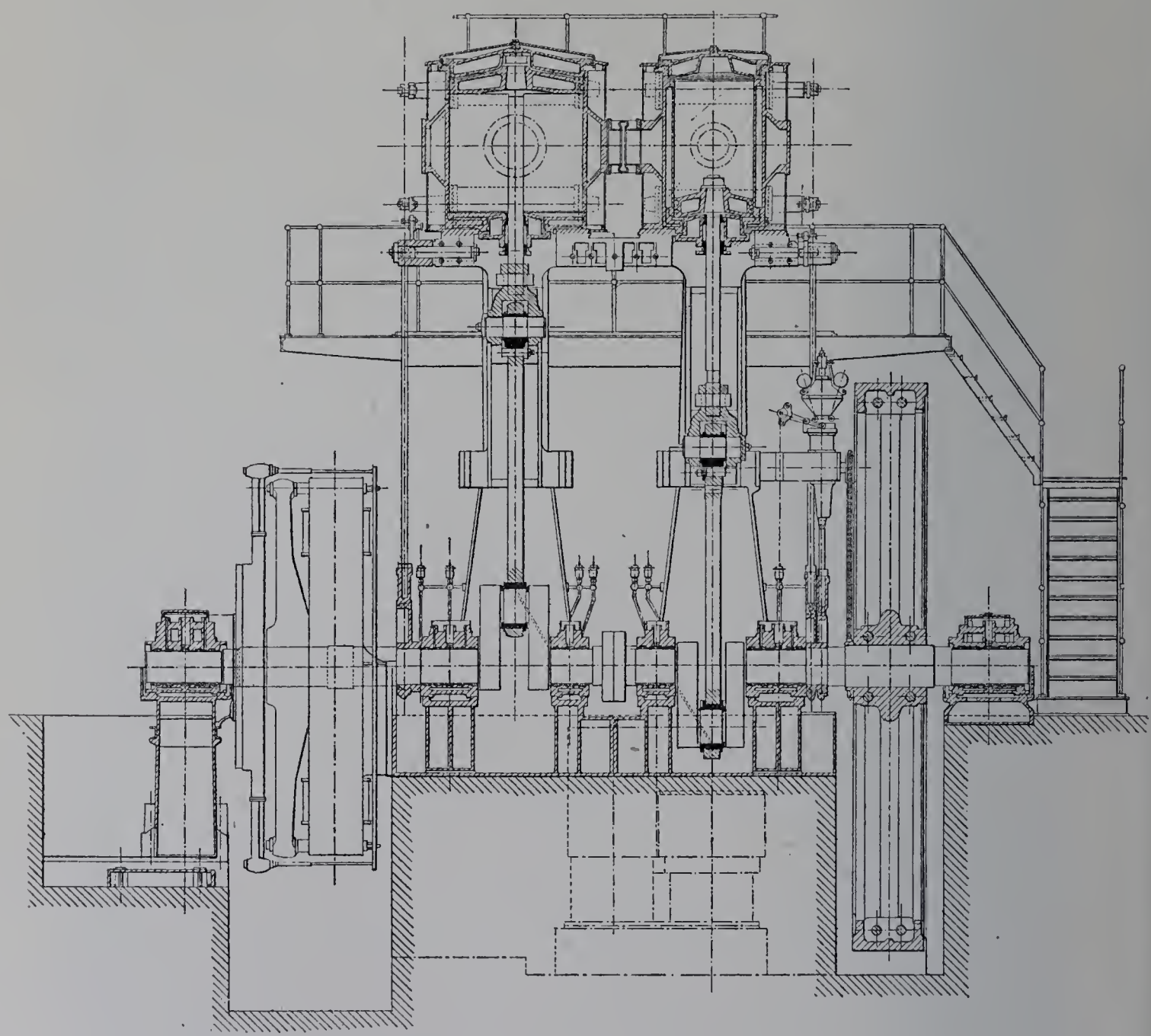


Fig. 447. — Coupe longitudinale.

Afin de réduire au minimum les actions exercées sur les fondations de la machine par l'inertie des pièces à mouvement alternatif, les deux manivelles sont décalées de 180 degrés. A raison de la nature du service, la question du démarrage est résolue sans inconvénient par le moyen d'un virevir; d'autre part, la régularité de la vitesse dans le tour est une affaire de volant : sur les deux travées extrêmes de l'arbre sont calés, d'un côté l'induit, de l'autre un volant de 5 m. 70 pesant 31 tonnes.

L'arbre, dont la longueur totale est 8 m. 95, est formé de deux moitiés terminées chacune du côté de la jonction par un plateau venu de forge : les deux plateaux sont

assemblés par une couronne de boulons. Chaque moitié comprend une manivelle au voisinage du plateau et repose sur trois paliers : un de chaque côté de la partie coudée et le troisième à l'extrémité de l'arbre, afin de supporter sans porte-à-faux la lourde pièce tournante, induit d'un côté, volant de l'autre. Les tourillons ont 0 m. 35 de diamètre; les paliers, à coussinets garnis d'antifriction, sont rafraîchis par un courant d'eau au moyen d'une pompe électrique.

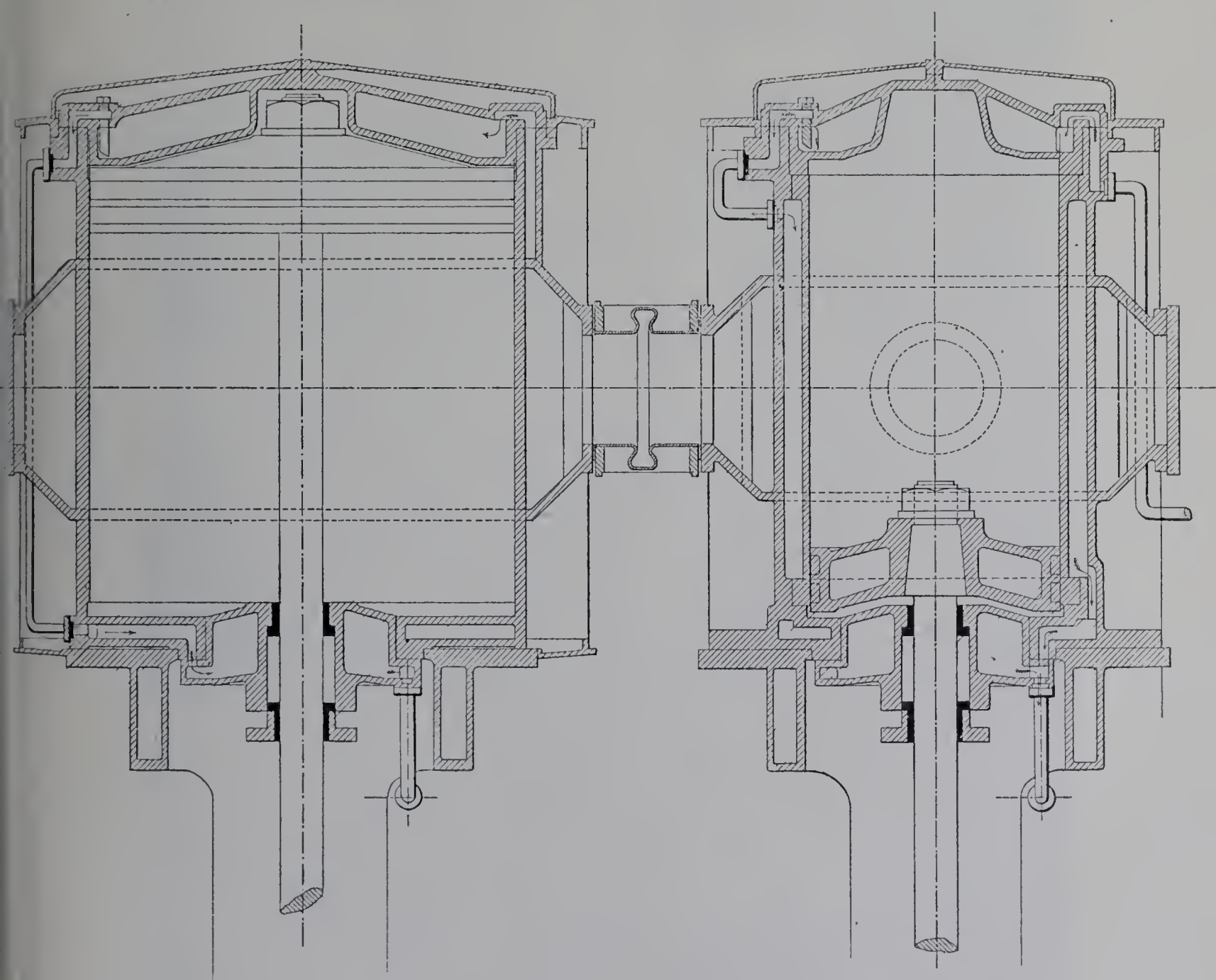


Fig. 448. — Détail de la coupe longitudinale des cylindres.

Chaque bâti est formé de deux jambages symétriques, fortement assemblés.

Le petit cylindre est à chemise intérieure rapportée et à enveloppe de vapeur complète : un filet de vapeur vive est amené dans le couvercle supérieur, passe de là autour de la chemise et accède enfin dans le fond creux du bas, qui est continuellement asséché par un tuyau de purge. Le grand cylindre a de son côté une enveloppe cylindrique partielle qui, avec la communication à soufflet établie entre les deux cylindres, constitue le réservoir intermédiaire; sur cette enveloppe cylindrique est prise une dérivation qui

chauffe successivement le fond creux du haut et celui du bas, d'où part un second tuyau de purge.

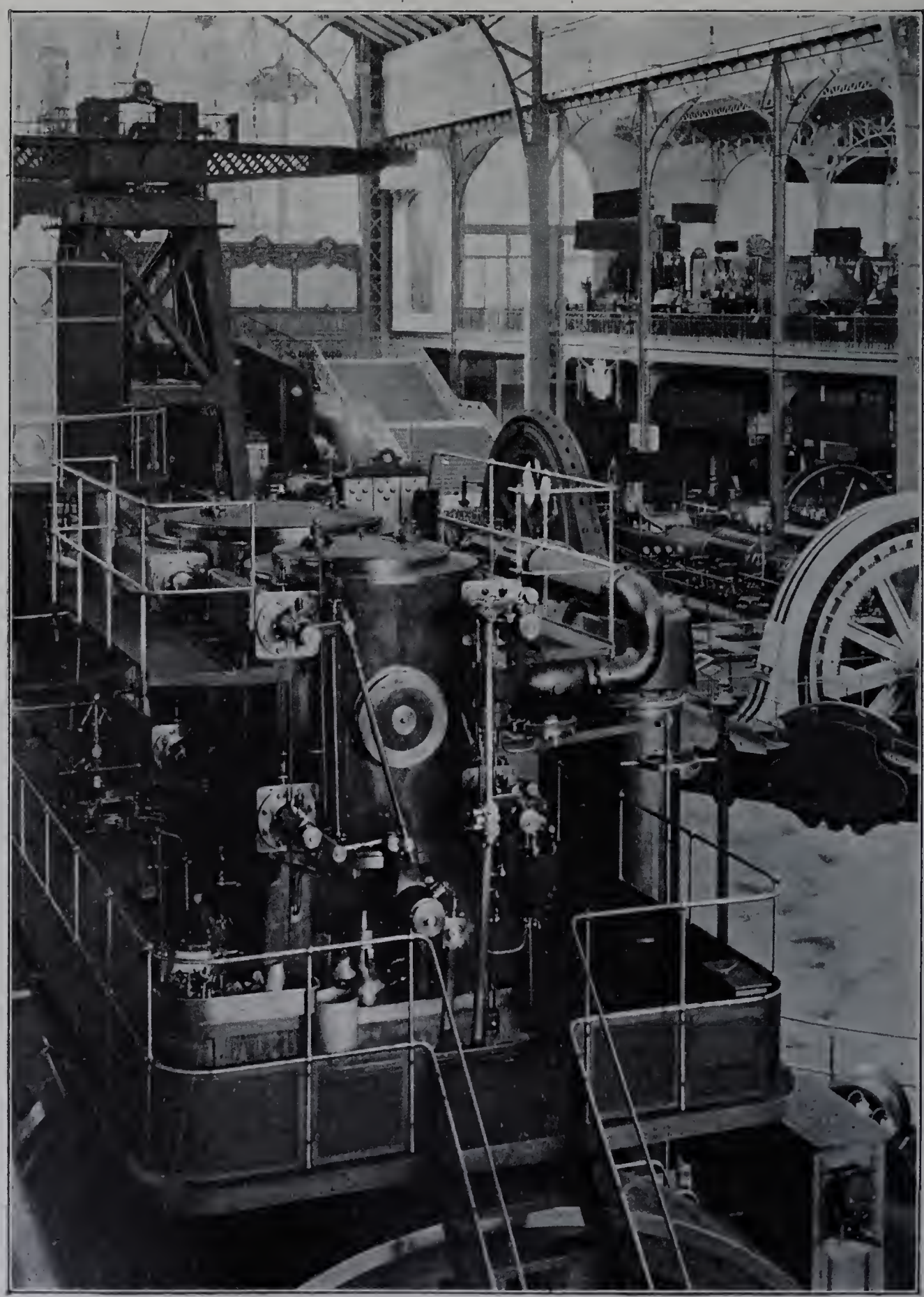


Fig. 449. — Machine verticale de la Société alsacienne. — Vue du petit cylindre.

La distribution est commandée au petit cylindre par deux excentriques indépendants, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement (fig. 253). Le premier actionne

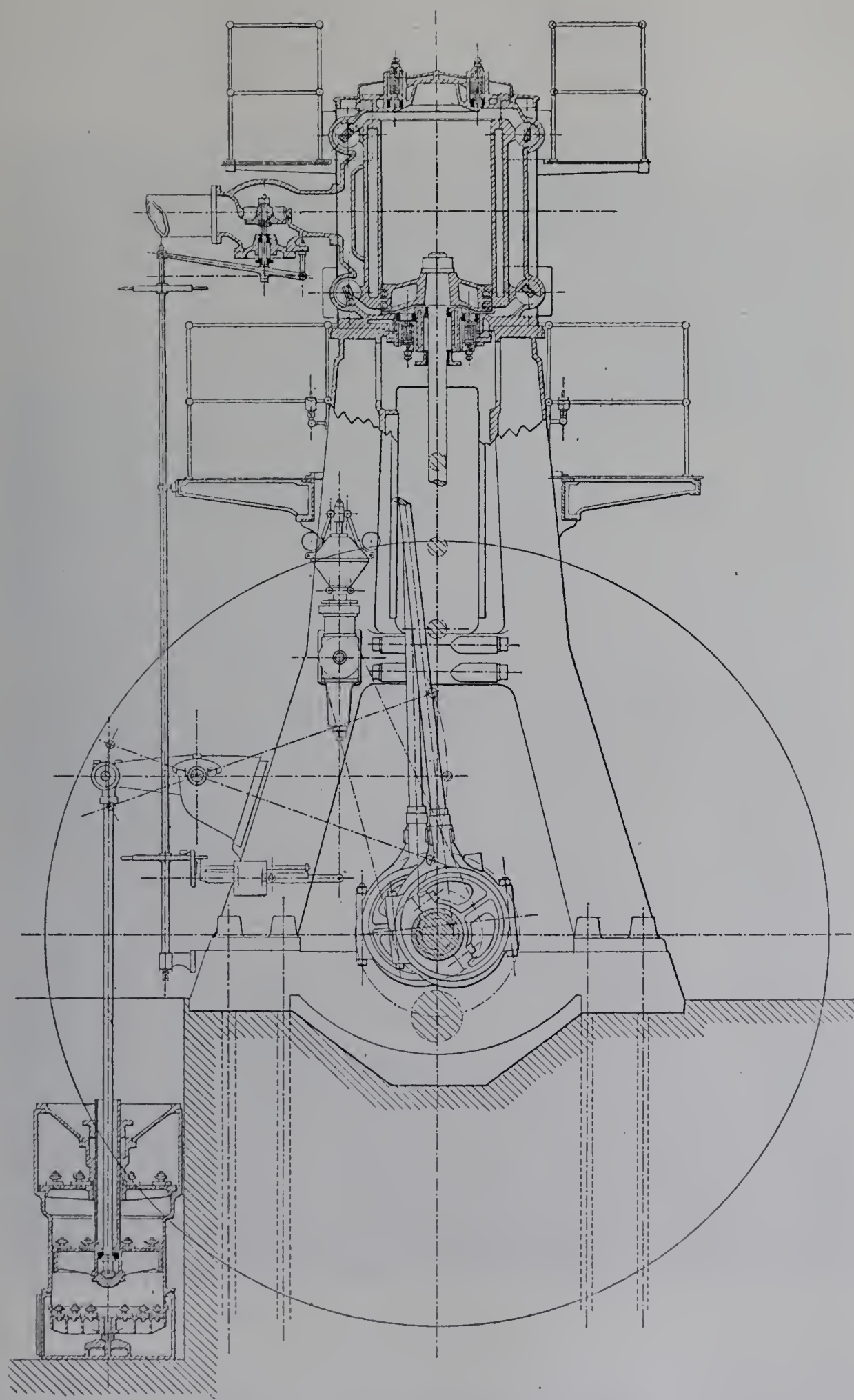


Fig. 450. — Coupe transversale du petit cylindre.

directement, par bielles, les mécanismes à déclic des deux tiroirs d'admission : ces mécanismes sont du système déjà décrit au sujet de la machine horizontale tandem des mêmes constructeurs; la position des galets de déclenchement dépend, par un renvoi

Fig. 451. — Machine verticale de la Société alsacienne. — Vue du grand cylindre.

de tringles, d'un levier à trois branches placé près du régulateur et dont l'orientation est gouvernée par le manchon de celui-ci. L'admission au petit cylindre peut varier automatiquement de zéro à 50 p. 100.

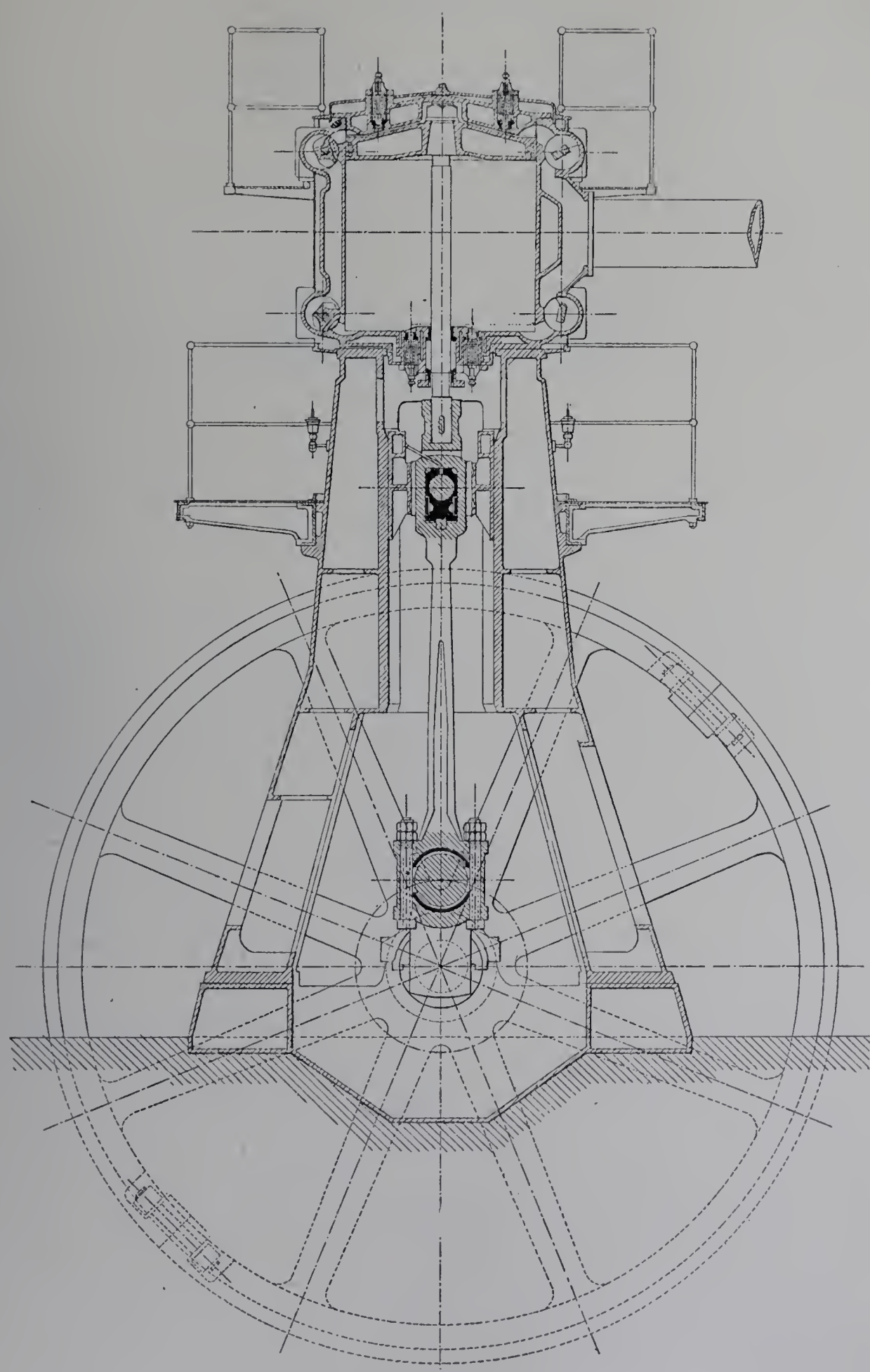


Fig. 452. — Coupe transversale du grand cylindre.

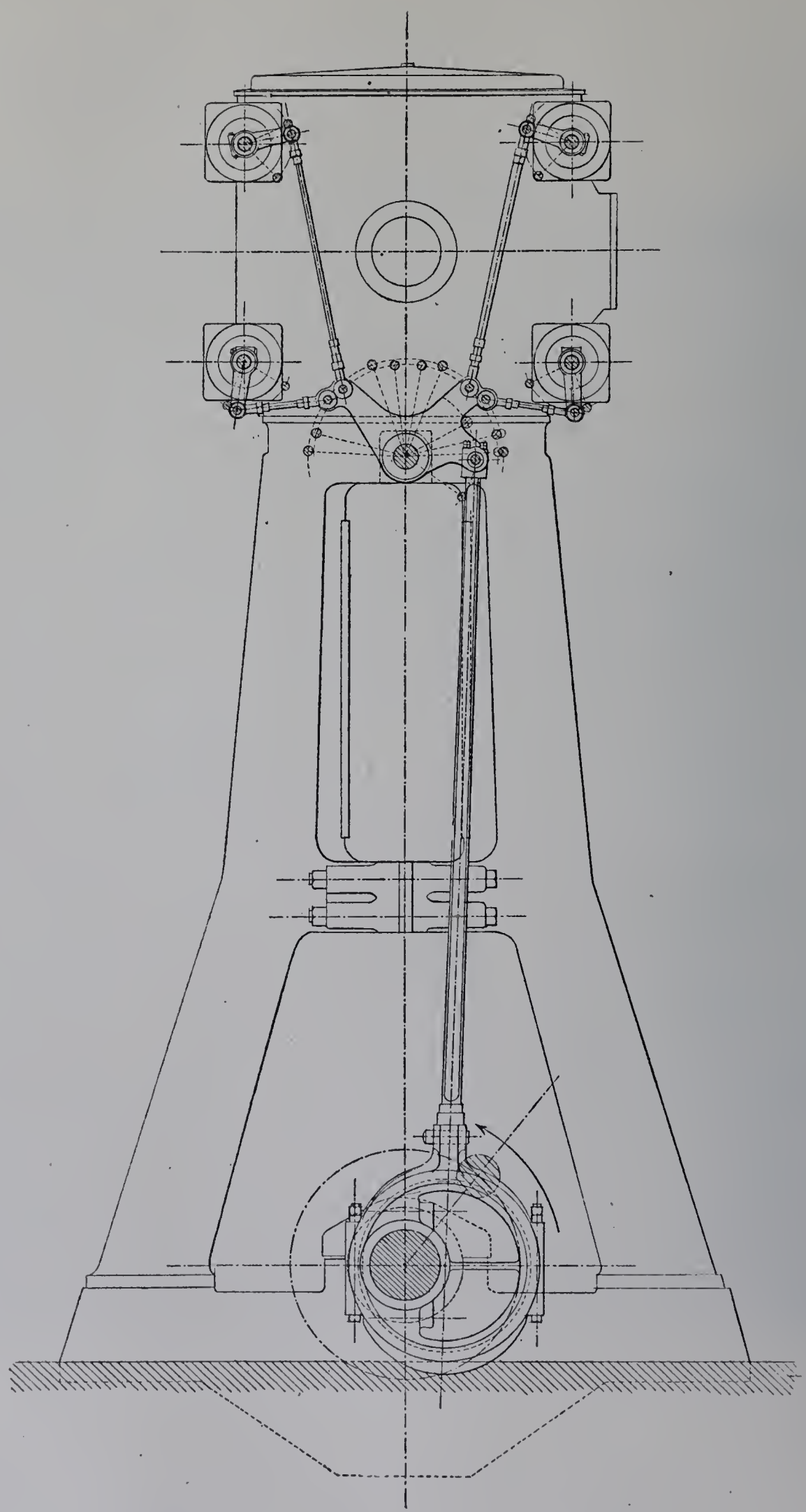


Fig. 453. — Commande de la distribution au grand cylindre.

L'autre excentrique fait osciller, au pied du cylindre, un balancier d'où partent les deux bielles actionnant les tiroirs.

Au grand cylindre, le mécanisme de distribution est à liaisons complètes; il est commandé par un seul excentrique (fig. 453).

Machine compound des Ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg. — C'est aussi sur deux manivelles décalées de 180 degrés que s'exerce l'action motrice dans la machine verticale à double expansion de la Société anonyme des Ateliers réunis de constructions mécaniques d'Augsbourg et de Nuremberg. Cette machine (fig. 454 à 459) dont la puissance normale atteint 1.400 chevaux, tourne plus rapidement et avec de plus grandes vitesses de pistons que la précédente :

$$D_1 = 0^m 865 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.27$$
$$D_2 = 1\ 330 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.36$$
$$L = 1\ 100 \qquad$$
$$N = 93,8 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 45$$

La marche n'en est pas moins d'une douceur irréprochable et absolument silencieuse.

La machine porte, sur les travées extrêmes de son arbre, d'un côté l'inducteur d'un alternateur à courants triphasés de 1,000 kilovolts-ampères avec facteur de puissance minimum de 0,7, de l'autre l'induit d'une dynamo à courant continu de 350 kilowatts. La première de ces pièces tournantes a pour carcasse un volant de 5 m. 33 de diamètre et 0 m. 84 de largeur : elle pèse. 54 tonnes; la seconde a un diamètre de 2 m. 40 et son poids est de 12 tonnes. Les deux machines électriques proviennent des établissements W. Lahmeyer; l'ensemble constitue un groupe électrogène mixte pour éclairage et traction.

L'arbre est en trois parties. La partie médiane, comprenant les deux manivelles, est portée et maintenue par quatre paliers : les deux paliers situés à droite et à gauche de chaque manivelle, et l'encadrant d'aussi près que possible, sont venus de fonte avec la plaque de fondation du bâti correspondant. A ses extrémités, cette partie médiane de l'arbre se termine par deux plateaux venus de forge, sur lesquels viennent s'assembler les prolongements portant, l'un la partie tournante de l'alternateur, l'autre celle de la dynamo à courant continu. Chacun de ces prolongements repose à son extrémité dans un palier de support; du côté de l'arbre médian, il est supporté par son assemblage avec celui-ci. La ligne d'arbre, au total, possède donc six paliers comme celle de la machine précédente, mais elle est tronçonnée différemment.

Du côté de l'alternateur, l'extrémité de l'arbre se prolonge, au delà du palier, par un bout en porte-à-faux : c'est l'axe de l'excitatrice, d'une puissance de 17 kilowatts.

Chacun des deux bâtis est constitué suivant le type classique des grandes machines de bateaux. A l'arrière, c'est-à-dire du côté où s'exerce normalement la pression sur la glissière, un fort montant creux en fonte, bifurqué à sa base et incliné vers

l'avant, est boulonné par en bas sur la plaque d'assise avec laquelle les paliers font corps, tandis que par en haut il est assemblé avec le cylindre; c'est sur ce montant que

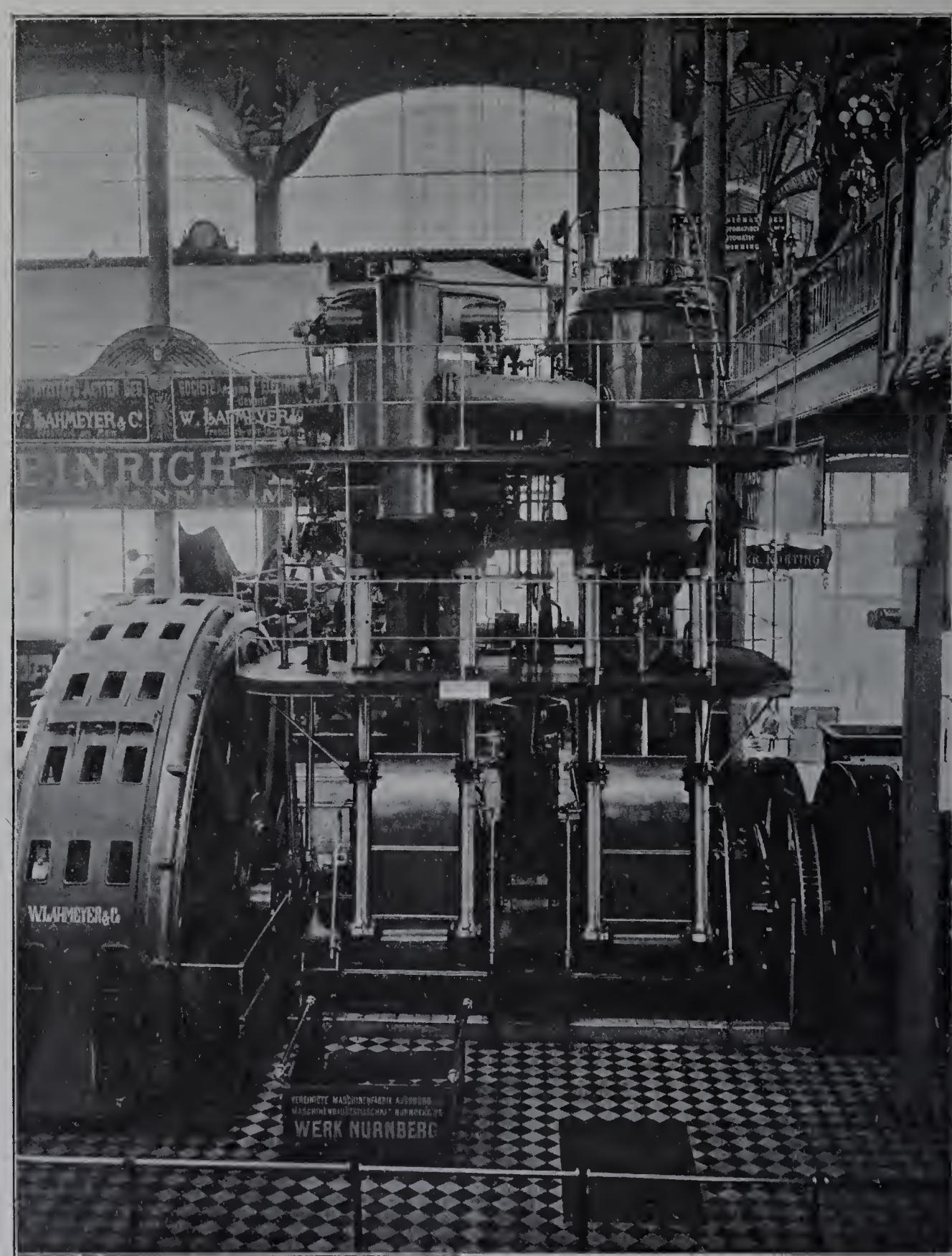


Fig. 454. — Machine à double expansion des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. Vue d'ensemble.

la glissière plate est établie. A l'avant, deux colonnes obliques en acier forment arcs-boutants, tout en laissant largement accessibles les paliers et les bielles.

La machine est à distribution mixte : soupapes au petit cylindre, en vue de l'emploi

de la vapeur surchauffée; tiroirs Corliss au grand, où l'on n'a plus à compter avec la surchauffe.

Les soupapes de distribution du petit cylindre sont logées dans deux chapelles cylindriques qui lui sont accolées du côté de l'arrière : l'une contient, à son sommet, les soupape sd'admission et d'échappement desservant le haut du cylindre, tandis que les soupapes qui opèrent la distribution sur la face inférieure du piston sont placées au bas de l'autre chapelle. Dans chaque chapelle, soupape d'admission et soupape d'échappement sont placées immédiatement l'une au-dessus de l'autre et communiquent avec l'extrémité correspondante du cylindre par une lumière commune.

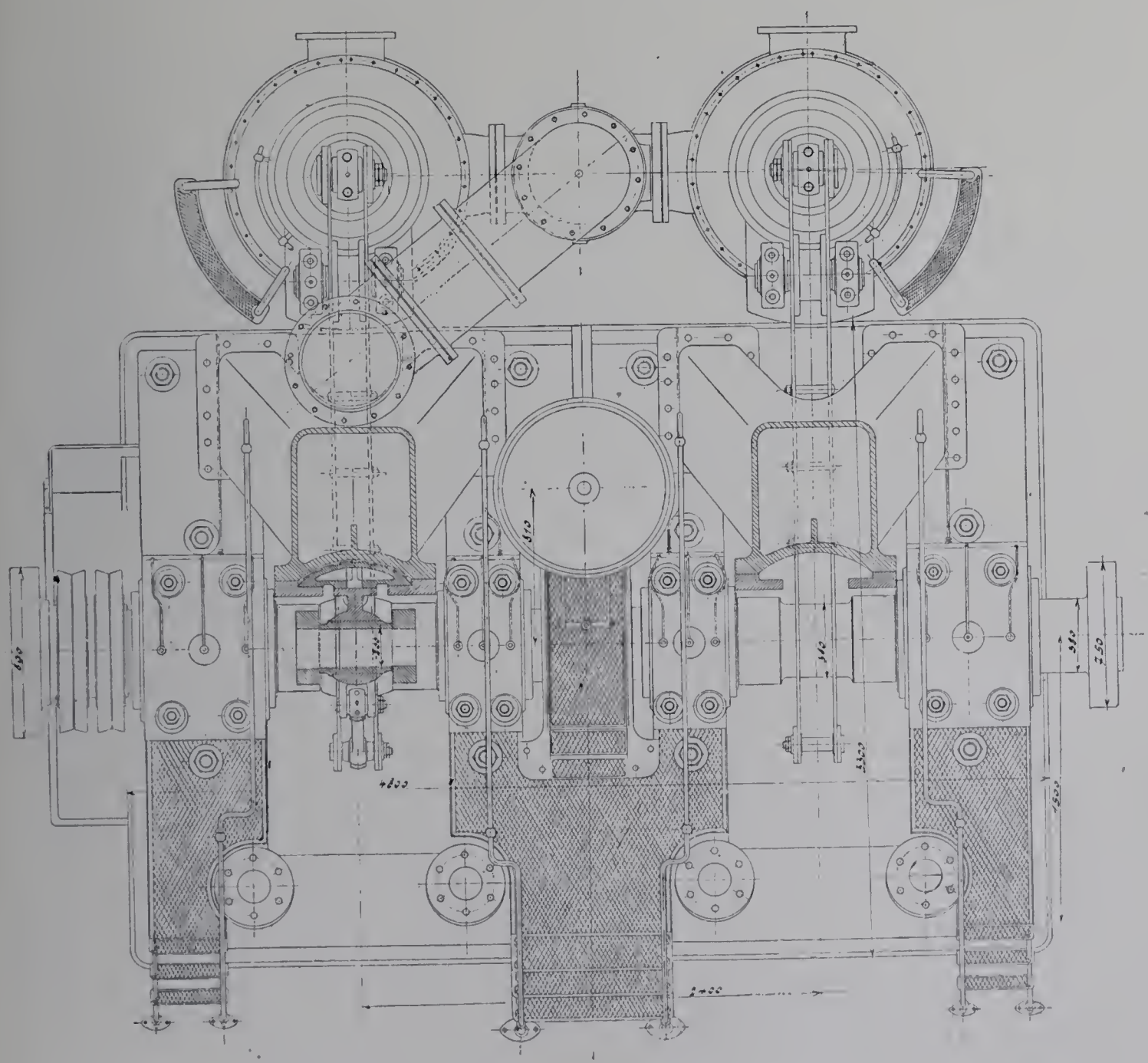


Fig. 455. — Plan et coupe horizontale à hauteur des glissières.

Le mouvement des soupapes est commandé par un arbre de distribution installé horizontalement derrière les deux chapelles.

Cet arbre est actionné au moyen d'un renvoi par engrenages hélicoïdaux et muni

IMPRIMERIE NATIONALE.

d'un volant pour assurer la douceur de sa rotation. Il porte quatre excentriques, un pour chaque soupape.

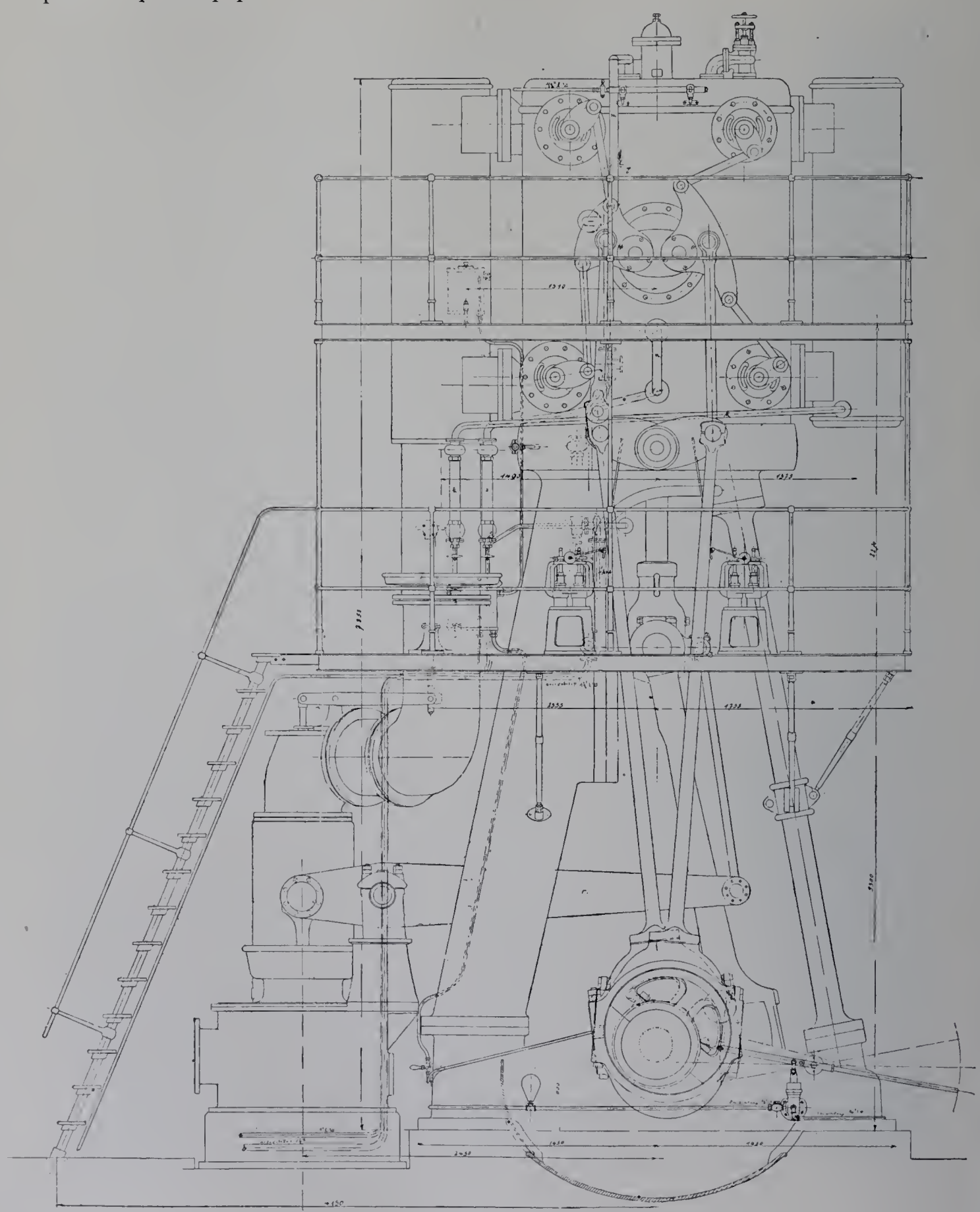


Fig. 456. — Elévation latérale, côté du grand cylindre.

Les soupapes d'admission sont pourvues d'un mécanisme à déclic. La bielle de l'excentrique fait osciller un bras coudé, articulé sur le même axe que le levier qui agit

sur la tige de soupape et qui constitue la pièce menée. Il n'y aurait pas de déclenchement si l'angle du coude ne variait pas : mais cet angle, que l'action d'un ressort à lame porté par la bielle d'excentrique tend continuellement à fermer, se trouve progressivement ouvert au cours du mouvement par la poussée d'un galet placé sous la dépendance du régulateur à force centrifuge. Quand le déclenchement se produit, la soupape est renvoyée sur son siège par un ressort à boudin agissant directement, au sommet de sa tige, sur le piston d'un dash-pot.

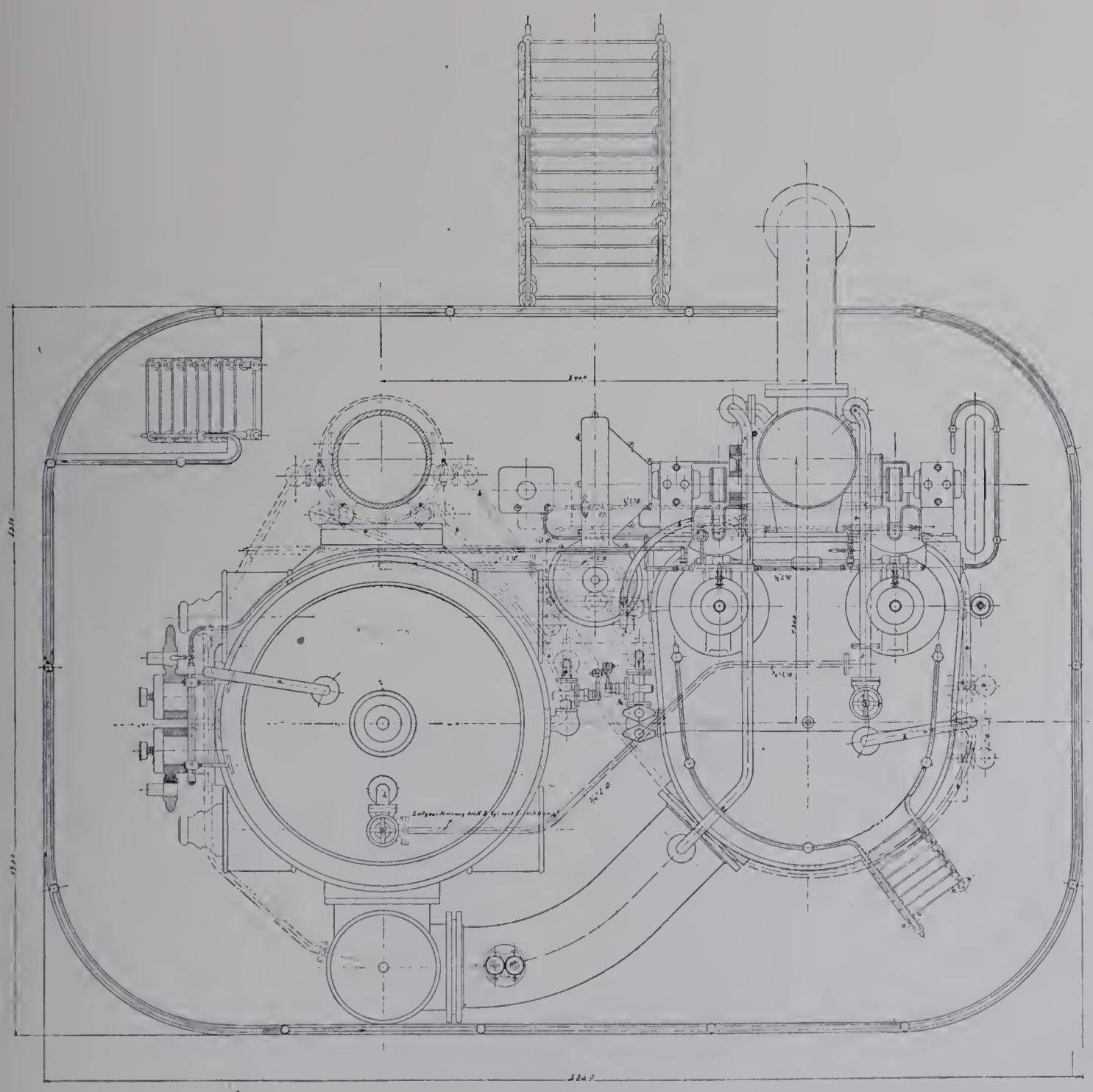


Fig. 457. — Plan de la partie supérieure.

Les soupapes d'échappement sont commandées par came. La bielle de l'excentrique fait osciller une table de roulement courbe qui pousse, tout en le faisant tourner, un galet porté par la queue du levier de soupape. Un ressort à boudin, sollicitant la tige

de la soupape dans le sens de la fermeture, assure le contact permanent du galet sur la table.

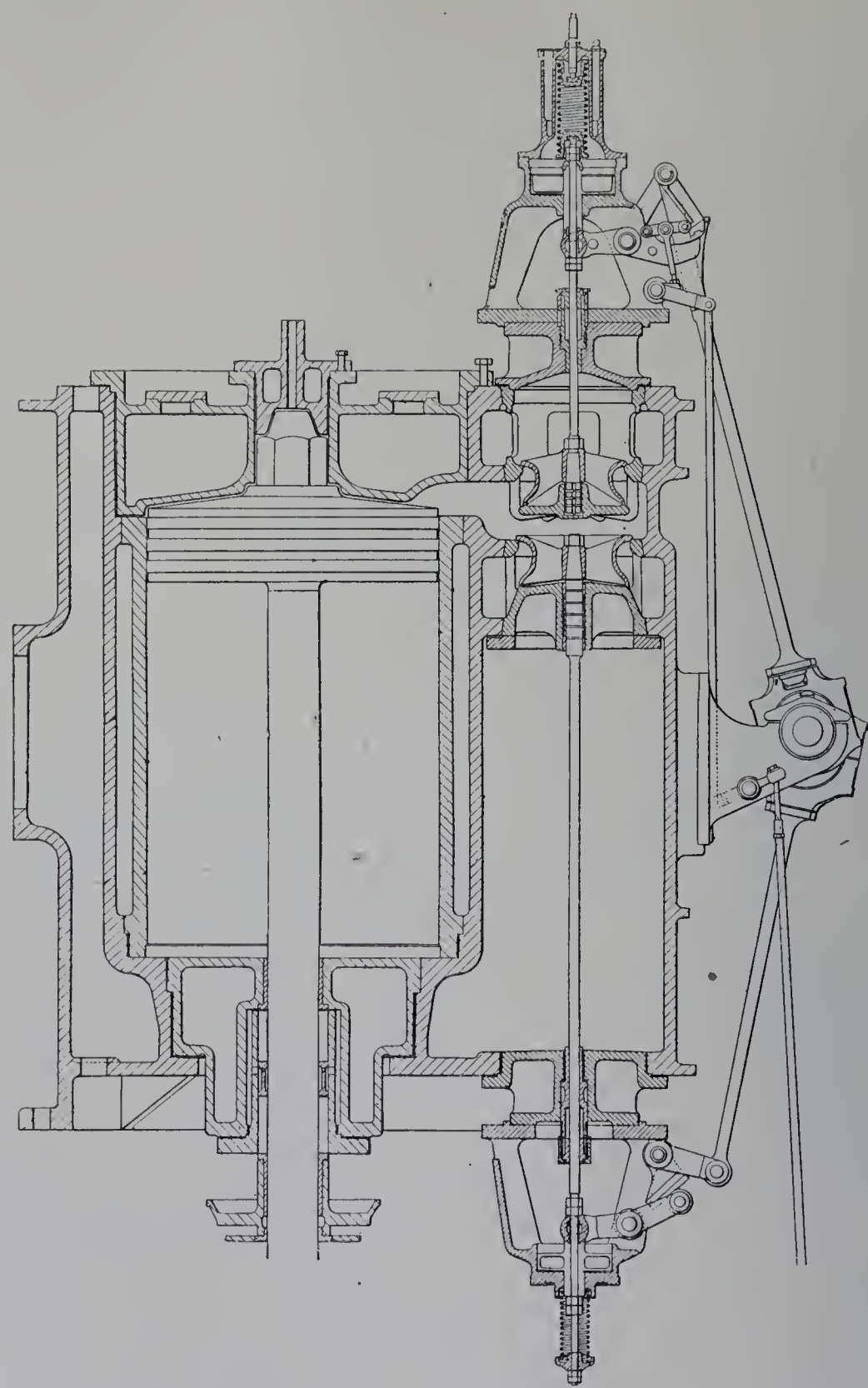


Fig. 458. — Distribution au petit cylindre; soupapes desservant la face supérieure du piston.

Au grand cylindre, les quatre distributeurs Corliss sont commandés par deux excentriques, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement. Au centre du rectangle formé par les axes de ces distributeurs sont tourillonnés, l'un à côté de l'autre, deux balanciers qui oscillent indépendamment, chacun sous l'action d'un des deux excentriques, au moyen d'un renvoi de bielles. De chaque balancier partent les deux bielles

obliques allant aux manettes des deux tiroirs correspondants. Cette distribution est tout entière à liaisons complètes.

Le vireur, pour la mise au point de départ, est un moteur électrique, du type cuirassé, fonctionnant sous 220 volts et développant 7 chevaux à 700 tours par minute,

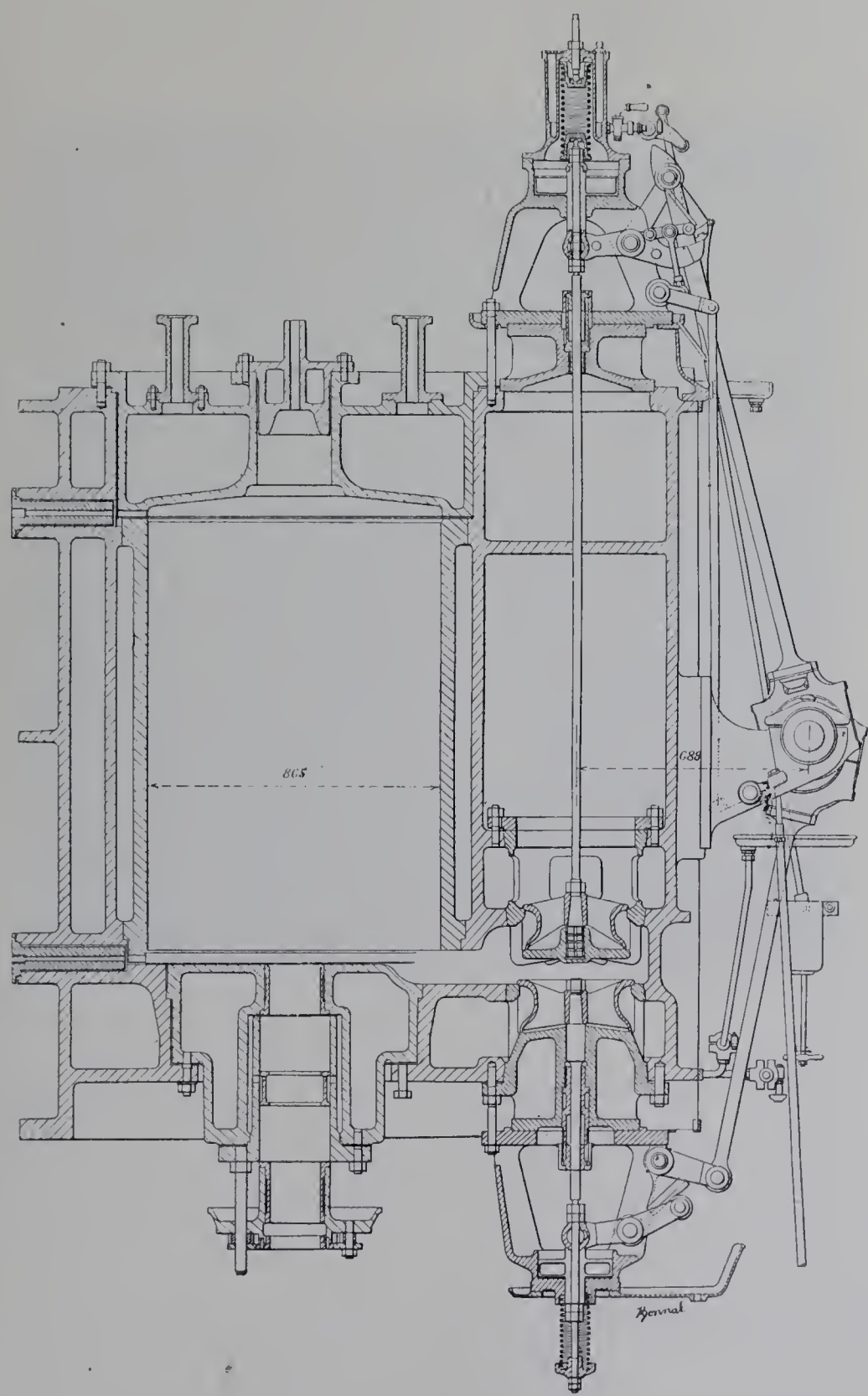


Fig. 459. — Distribution au petit cylindre; soupapes desservant la face inférieure du piston.

Ce moteur actionne, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, un pignon qui engrène avec un petit volant denté et qu'un mouvement de bascule débraye après le démarrage.

Machines à arbre droit. — *Société française de constructions mécaniques.* — Dans le second mode d'installation des moteurs compound verticaux, celui où les manivelles motrices sont aux extrémités de l'arbre, nous avons à signaler deux machines, qui fonctionnent l'une dans la section française, l'autre dans la section britannique.

La première est française par l'exécution, mais elle est américaine par le type : c'est la puissante machine exposée par la Société française de constructions mécaniques

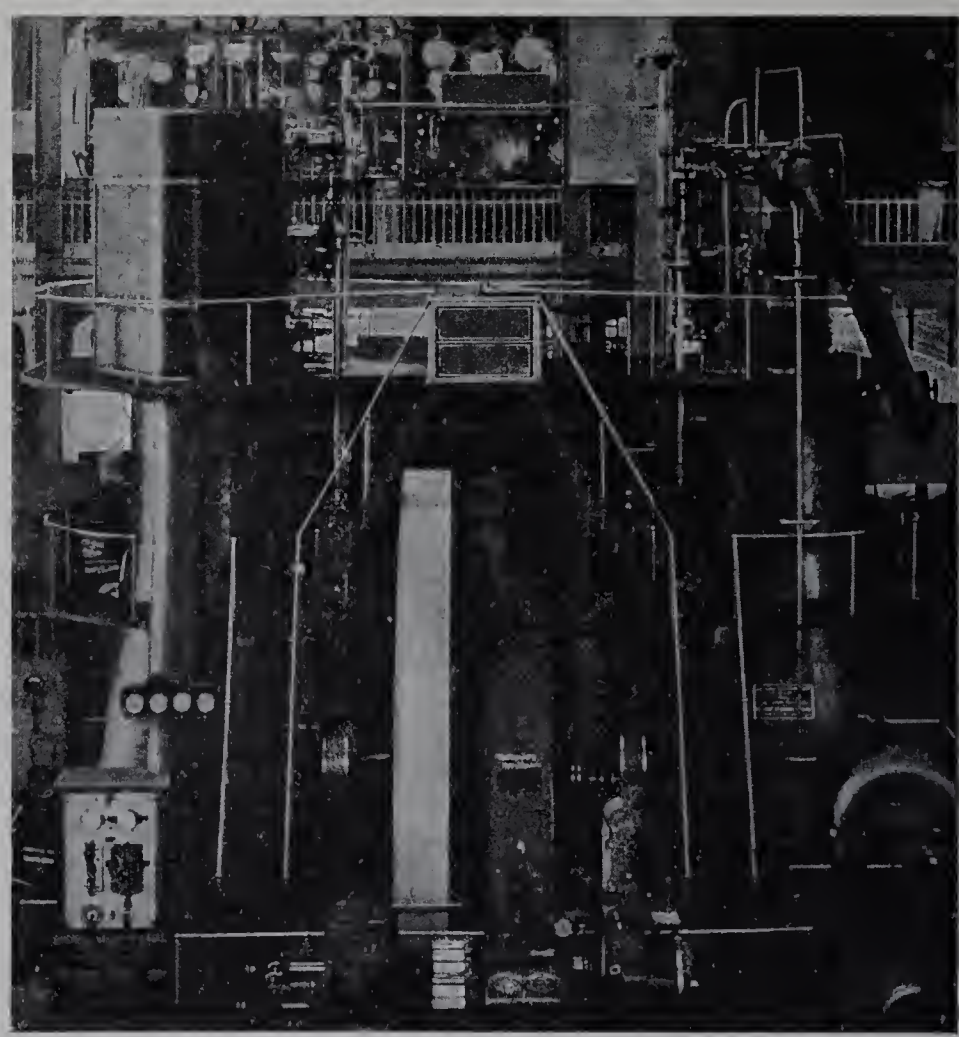


Fig. 460. — Machine Allis de la Société française de constructions mécaniques. — Vue.

(anciens établissements Cail). La figure 460 en donne une vue d'ensemble et les figures 461 à 463 en font comprendre les dispositions générales. Ces dispositions sont celles des moteurs Allis, de Milwaukee; elles comportent une distribution du système Reynolds.

Les données de la machine sont :

$$D_1 = 0^m 81 \qquad \frac{L}{D^1} = 1.5$$

$$D_2 = 1\ 73 \qquad \frac{D^2}{D_1^2} = 4.56$$

$$L = 1\ 22$$

$$N = 75 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 05$$

Avec une pression initiale de 12 kilogrammes par centimètre carré, la puissance indiquée est donnée en fonction de l'admission au petit cylindre par le tableau suivant :

ADMISSION AU PETIT CYLINDRE.	EXPANSION TOTALE.	PUISSANCE INDIQUÉE.
p. 100.		chevaux.
15	30,4	1,330
25	18,2	2,020
40	11,4	3,130

Sur la partie centrale de l'arbre sont calés, l'un à côté de l'autre, l'inducteur d'un alternateur triphasé et un volant.

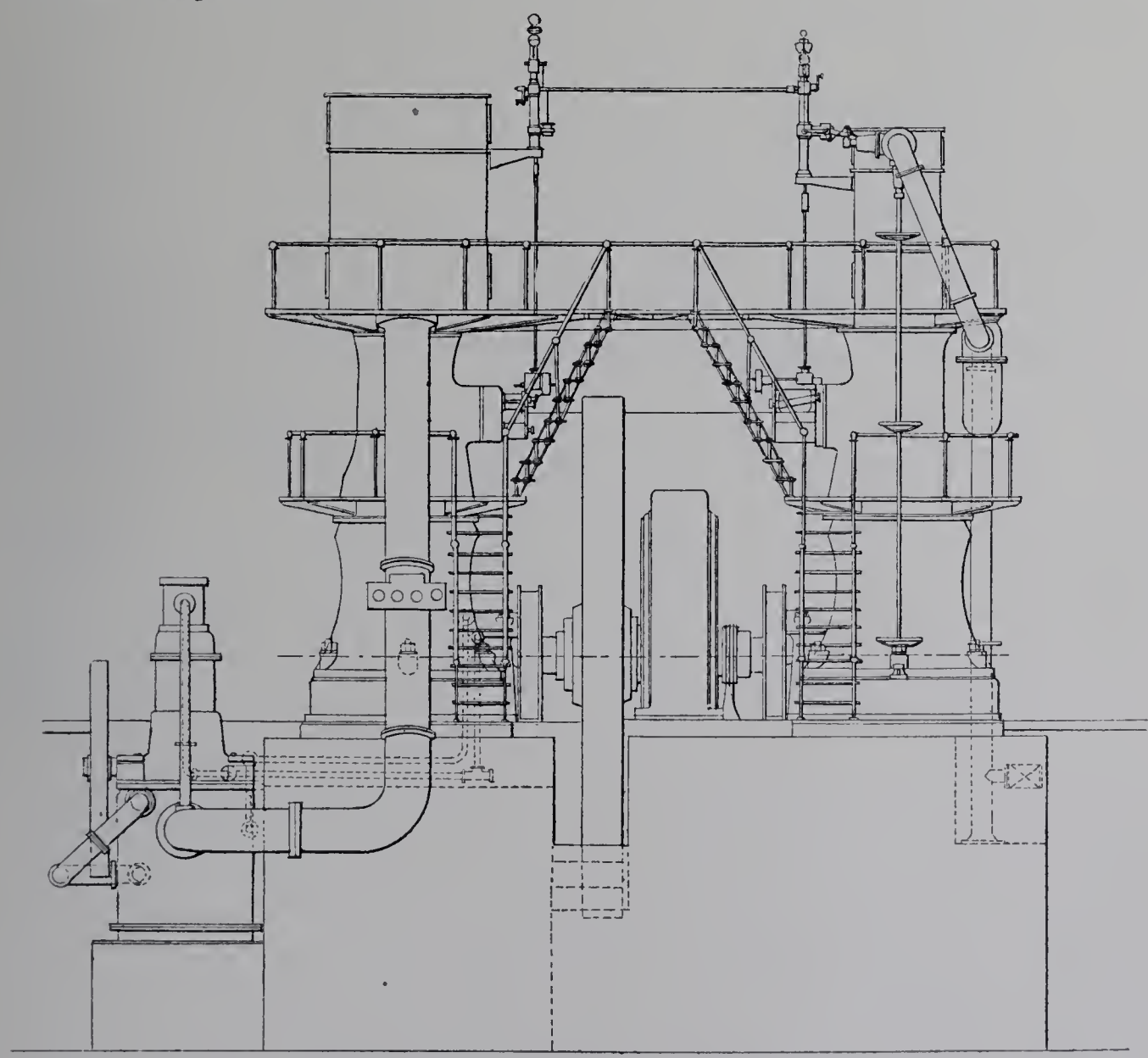


Fig. 461. — Élévation.

L'alternateur, exposé par la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston, a été construit dans les ateliers Postel-Vinay, à Paris. La puissance apparente est de 1,000 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance égal à 0,9. Il fournit des courants à basse fréquence (25 périodes par seconde) qui sont transformés

en courant continu à 550 volts dans deux sous-stations installées à l'Esplanade des Invalides et aux Champs-Élysées. L'inducteur, à 40 pôles, mesure seulement 3 m. 54 de diamètre extérieur, avec une largeur de jante de 0 m. 61, et ne pèse que 18 tonnes. Aussi, pour réduire à 1/320 les écarts de vitesse dans le tour, lui a-t-on adjoint un puissant volant. Celui-ci a un diamètre de 7 m. 32, soit une vitesse circonférentielle de 28 m. 80 par seconde, et pèse 65 tonnes.

Les deux cylindres sont écartés de 6 m. 71 d'axe en axe. L'arbre, en acier au nickel, foré d'un bout à l'autre et mesurant 0 m. 66 de diamètre à l'endroit du volant, ne repose que dans deux paliers. Les tourillons ont un diamètre de 0 m. 556 et une longueur de 1 m. 067 : d'où une pression sur les coussinets d'environ 10 kilogrammes par centimètre carré, en supposant que la charge se répartisse uniformément sur toute leur longueur. En vue de ce résultat et en prévision de la flexion de l'arbre, les coussinets sont à rotule. Une circulation d'eau a été prévue pour les rafraîchir. Les bâtis sont du type *crinoline*, avec glissières alésées, assez hauts pour que la longueur des bielles vaille 5,5 rayons de manivelle. Les pistons, creux et à faces planes, sont disposés de manière qu'on puisse, sans les retirer des cylindres, en visiter et en changer les segments.

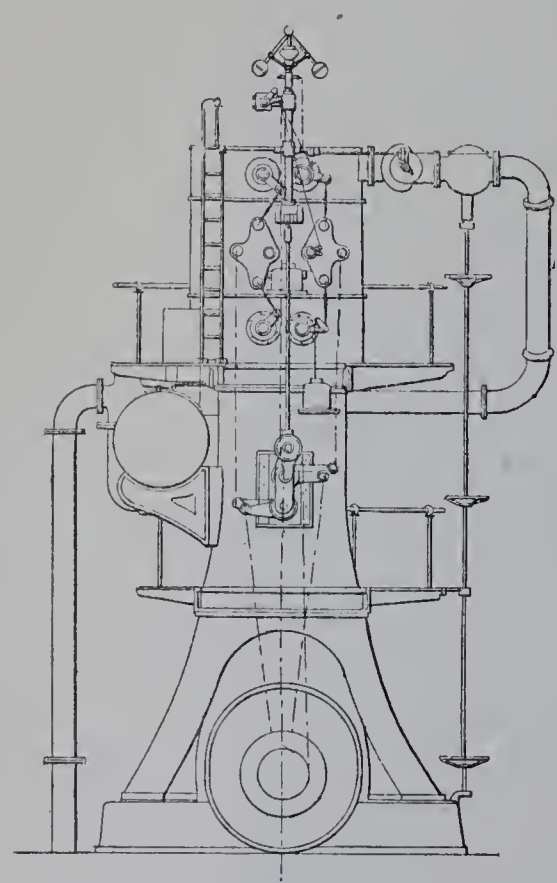


Fig. 462. — Élévation latérale, côté du petit cylindre.

Les cylindres sont l'un et l'autre à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour : chacun d'eux est formé de quatre pièces, chemise, enveloppe cylindrique et fonds creux. Les distributeurs sont logés dans les fonds. Les espaces morts sont compris entre 2 et 2.5 p. 100.

Dans son passage du petit au grand cylindre, la vapeur passe par un réservoir intermédiaire dont une partie est chauffée. C'est un faisceau de 121 tubes, offrant une surface de chauffe de 32 m. q. 50 et renfermé, entre deux plaques tubulaires, dans un récipient cylindrique horizontal de 0 m. 965 de diamètre et 8 m. 50 de longueur. Ce récipient est disposé transversalement derrière la machine et porté par deux consoles fixées aux bâtis à hauteur des glissières. Un filet de vapeur vive chauffe d'abord les enveloppes du petit cylindre, puis se rend dans le récipient cylindrique, autour des tubes, et enfin, après avoir abaissé sa pression dans un détendeur, aboutit dans les enveloppes du cylindre à basse pression; des purgeurs sont disposés aux points convenables pour éliminer l'eau condensée.

Les distributeurs sont à double canal. La distribution de chaque cylindre est commandée par deux excentriques, l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement. La commande des tiroirs d'admission est à déclic aux deux cylindres, avec rappel pneuma-

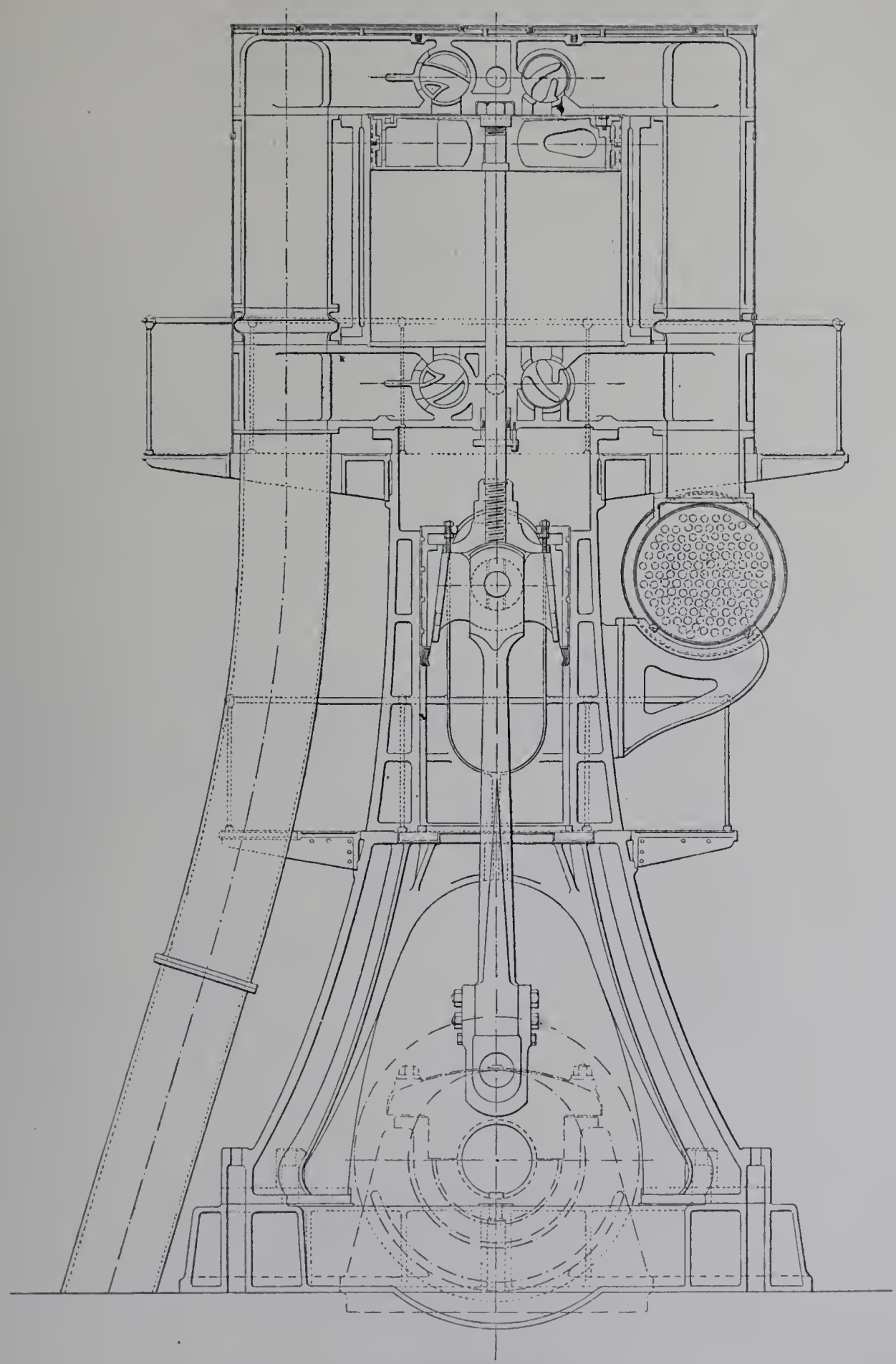


Fig. 463. — Coupe transversale par le grand cylindre.

tique et dash-pot à air. Les déclenchements, pour l'un et l'autre cylindre, sont placés sous la dépendance commune d'un régulateur à force centrifuge, qui fait varier simultanément les admissions.

La machine possède en outre un deuxième régulateur à force centrifuge. C'est un organe de sûreté. Au cas où la machine prendrait une vitesse de rotation supérieure d'une quantité donnée à la vitesse normale, ce régulateur déclencherait un poids qui ramènerait à la position de fermeture un robinet interposé sur la conduite d'arrivée de vapeur : nous avons déjà mentionné cette disposition, représentée par la figure 259.

Machine Galloway. — C'est avec des dispositions générales analogues que se présente le groupe électrogène exposé, dans la Section anglaise, par la Compagnie Galloway pour la partie mécanique et par MM. Mather et Platt pour la partie électrique. Mais il ne s'agit ici que d'une compound de 600 chevaux, alimentée sous la pression de 10 kilogrammes par centimètre carré, et d'une dynamo à courant continu de 350 kilowatts (1,400 ampères sous 250 volts). C'est la première fois que MM. Galloway, depuis si longtemps fabricants de chaudières, exposent comme constructeurs de machines.

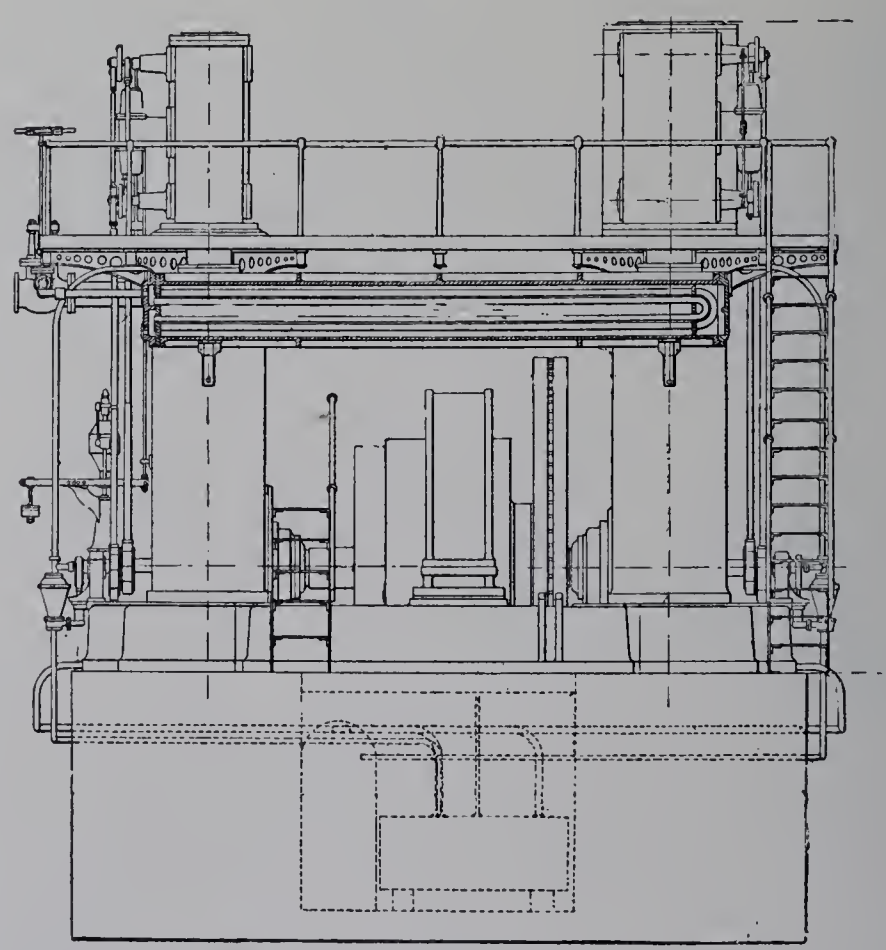


Fig. 464. — Machine de la Compagnie Galloway. — Élévation.

Le moteur, dont l'ensemble est représenté par les figures 464 à 467, tourne à 105 tours par minute. Les cylindres, montés sur des bâtis du type *crinoline*, sont caractérisés par les chiffres suivants :

$$D_1 = 0^m45 \qquad \frac{L}{D_1} = 2$$
$$D_2 = 0\ 85 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.56$$
$$L = 0\ 915 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m22$$
$$N = 105$$

Sur l'arbre est un volant de 3 mètres de diamètre, auquel est accolé, boulonné sur lui, un tambour supportant l'induit de la dynamo.

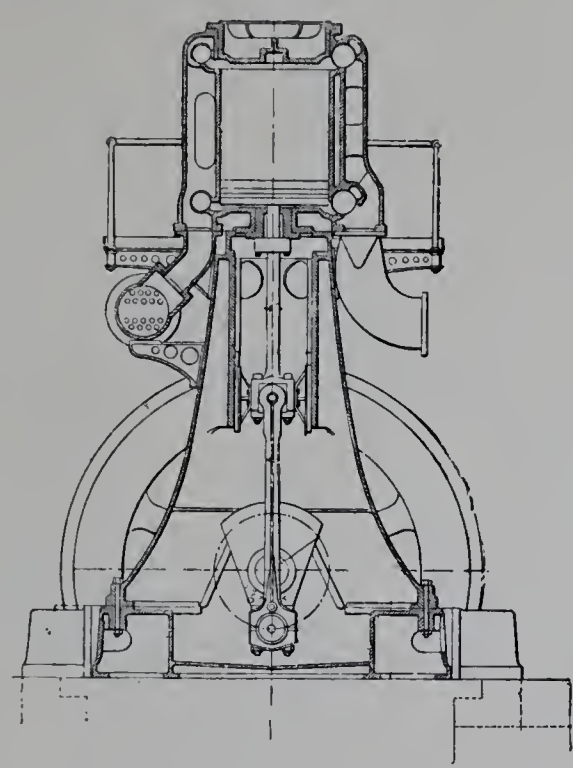


Fig. 465. — Coupe transversale.

Les cylindres n'ont pas d'enveloppe de vapeur. Par contre, le réservoir intermédiaire est chauffé : il est constitué par un gros tube transversal dans lequel sont dis-

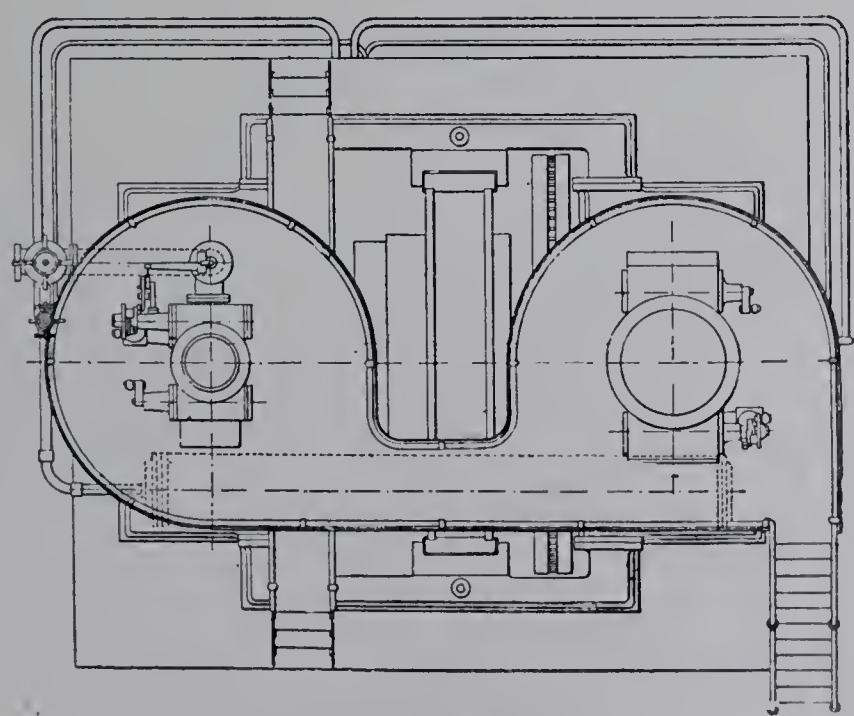


Fig. 466. — Plan.

posés 18 tubes recevant un filet de vapeur vive. La distribution a lieu aux deux cylindres par tiroirs Corliss; elle est commandée de chaque côté par deux excentriques, un pour l'admission et un pour l'échappement.

Du côté de la haute pression, la commande des tiroirs d'admission est à déclic.

L'introduction peut varier de zéro à 7/10 sous l'action d'un régulateur à force centrifuge, qui agit en même temps, pour les faibles valeurs de la puissance, en étranglant la valve d'arrivée de vapeur.

Au grand cylindre, l'introduction est réglable à la main.

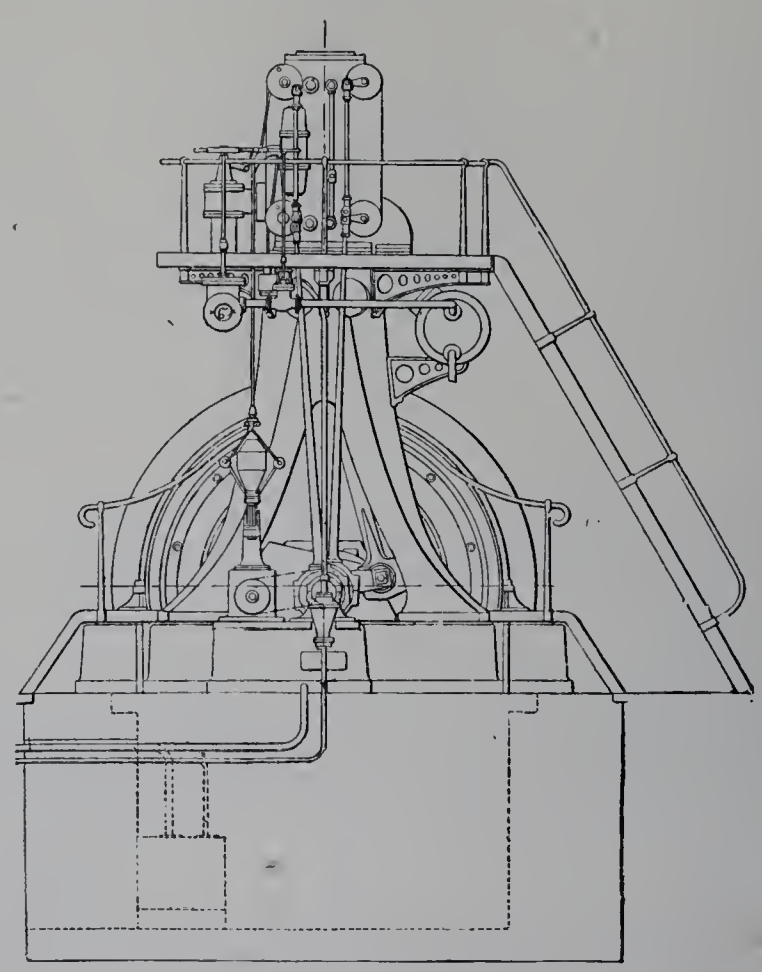


Fig. 467. — Elévation latérale du côté de la haute pression.

§ 3. — Triple expansion.

Types horizontaux. — *Dujardin.* — Dans la catégorie des grands moteurs à moyenne vitesse, la seule machine de la Section française qui soit à triple expansion est la machine de 1,700 chevaux de MM. Dujardin et Cie (fig. 468 à 476). Elle est horizontale et comprend quatre cylindres, dont deux associés en quantité pour la basse pression; le n° 1 et le n° 2 sont placés chacun derrière un des cylindres n° 3; ainsi groupés par deux en tandem, les cylindres sont disposés sur deux lignes parallèles distantes de 6 m. 40. Les manivelles sont décalées de 90 degrés.

Les données caractéristiques sont les suivantes :

$$D_1 = 0^m 61 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.7$$

$$D_2 = 1\ 05 \qquad \frac{L}{D_2} = 1.6$$

$$D_3 = D'_3 = 1\ 05 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{3} = \frac{2D_3^2}{6}$$

$$L = 1\ 65$$

$$N = 72 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 96$$

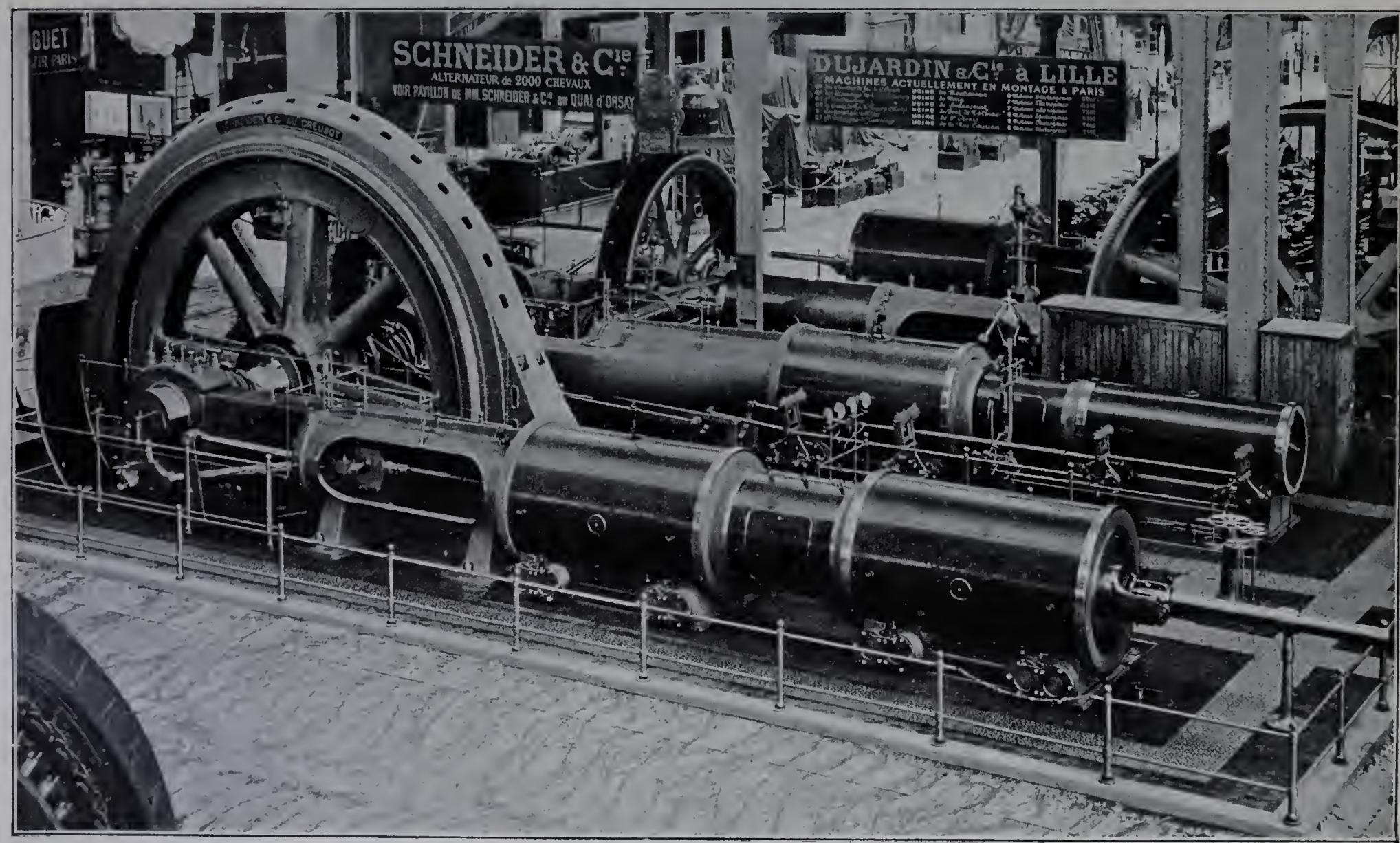


Fig. 468. — Machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie. — Ensemble.

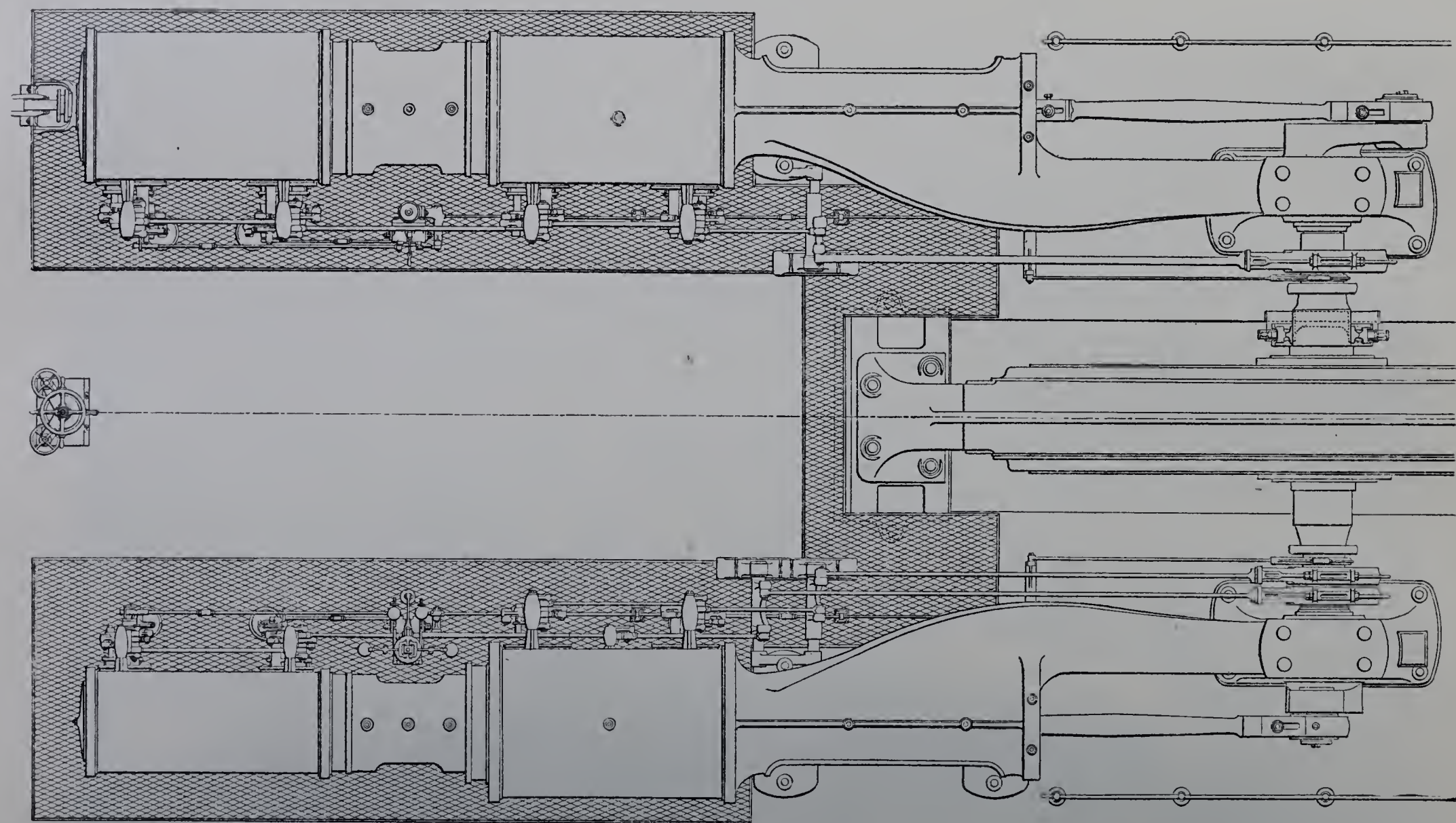


Fig. 469. — Machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie. — Plan.

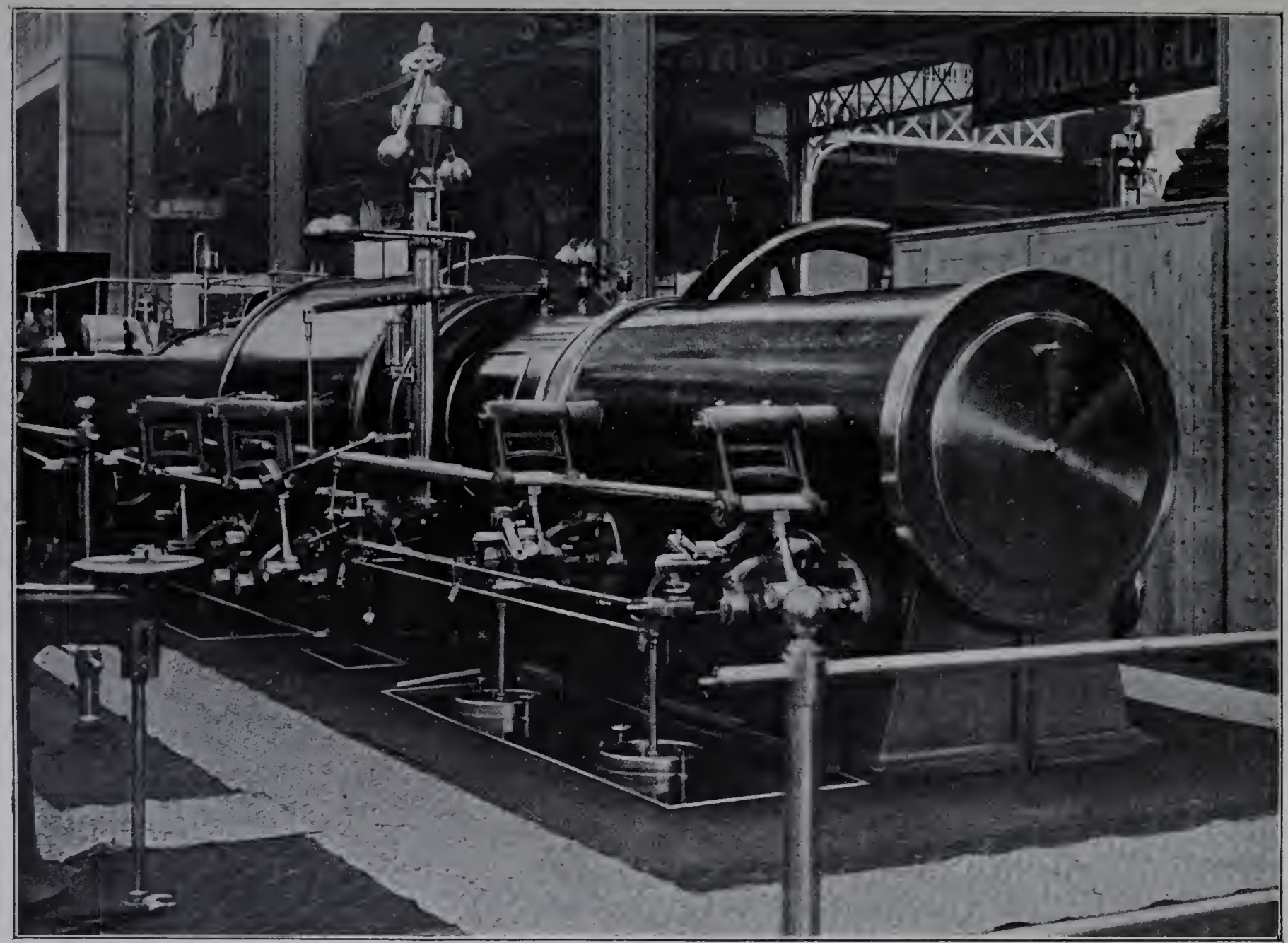


Fig. 470. — Machine Dujardin à triple expansion. — Vue du côté du cylindre de haute pression.

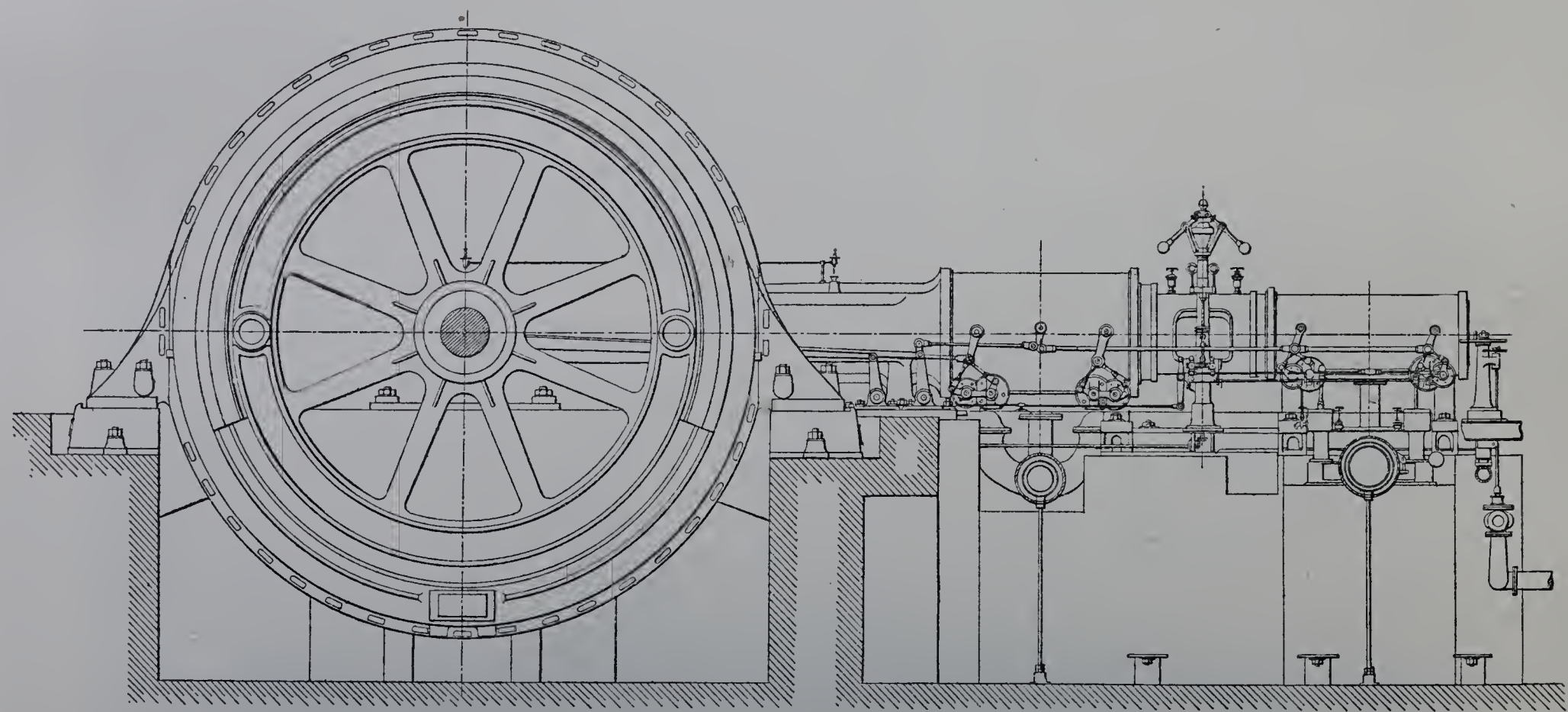


Fig. 471. — Élévation longitudinale, côté du cylindre de haute pression.

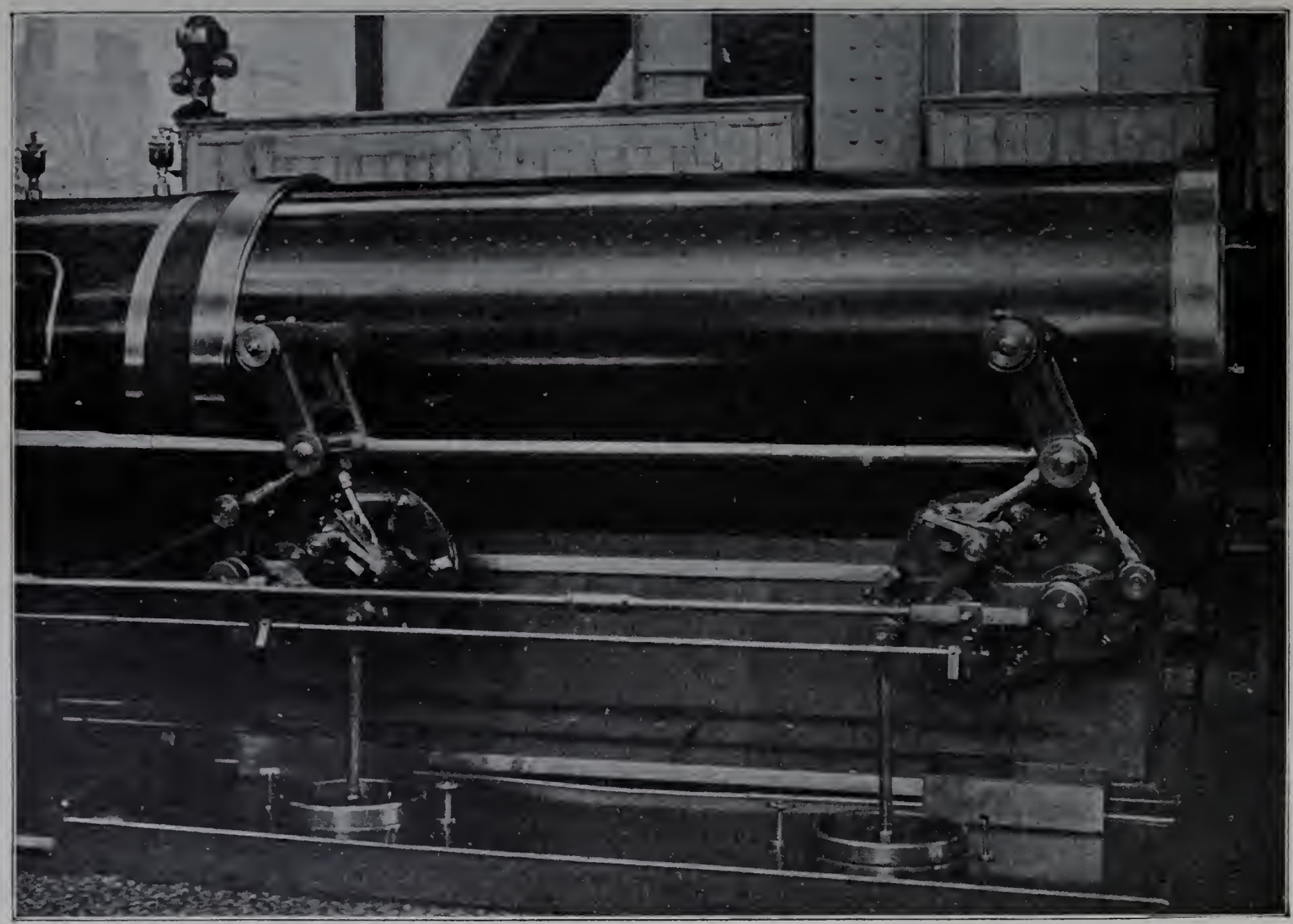


Fig. 472. — Machine Dujardin à triple expansion. — Cylindre de haute pression

IMPRIMERIE NATIONALE.

Alimentée sous la pression de 11 kilogrammes par centimètre carré, avec une introduction de 31 p. 100 au petit cylindre, ce qui donne une expansion totale de 19, et avec un vide de 69 centimètres de mercure au condenseur, la machine développe 1,700 chevaux indiqués, dont environ 550 dans chacun des cylindres n° 1 et n° 2 et 300 dans chacun des troisièmes cylindres.

Sur le milieu de l'arbre est un volant en fonte à huit bras doubles nervurés, de 6 mètres de diamètre, dont la jante en forme d'U, de 0 m. 66 de largeur, porte les 84 pôles inducteurs d'un alternateur Ganz à courants triphasés construit par le Creusot. Cet appareil a une puissance apparente de 1,400 kilovolts-ampères et une puissance vraie de 1,120 kilowatts. L'inducteur pèse 54 tonnes.

L'arbre, fait d'acier Martin et foré de bout en bout, mesure 65 centimètres de diamètre dans sa partie centrale; ses coussinets ont 0 m. 40 de diamètre et 0 m. 775 de longueur.

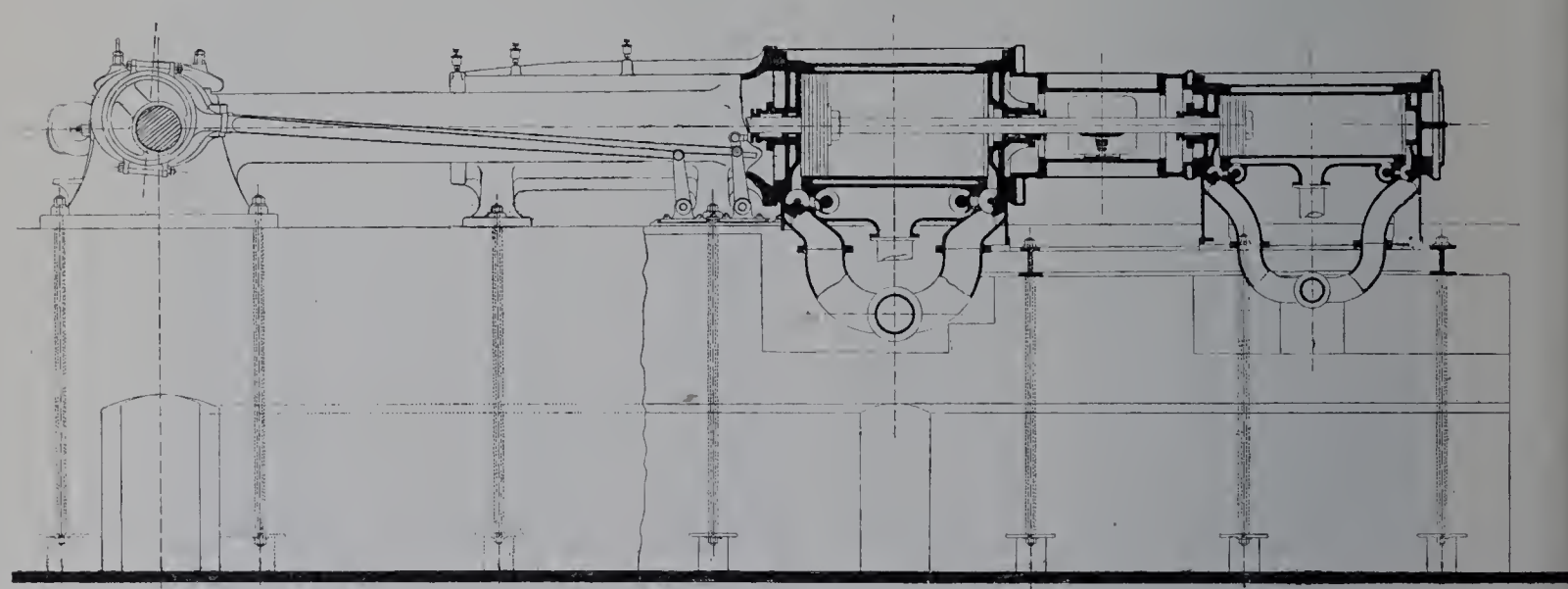


Fig. 473. — Coupe longitudinale par l'axe du cylindre de haute pression.

Les manivelles ont été emmanchées à ses extrémités par une force hydraulique de 285 tonnes; une force de 120 tonnes a été employée pour l'emmanchement des tourillons de manivelle.

Ce qui a été dit au sujet de la machine Dujardin à deux cylindres en tandem, joint aux détails fournis par les dessins et les photographies ci-contre, nous dispense de nous étendre en longues explications sur les dispositions de ce magnifique moteur, entièrement analogues à celles des autres machines des mêmes ateliers de construction.

Les cylindres sont tous à enveloppe de vapeur complète et, dans son trajet d'un cylindre au suivant, la vapeur passe par un réservoir intermédiaire entouré aussi d'une enveloppe.

L'enveloppe du cylindre de haute pression est chauffée par la vapeur vive et les autres par de la vapeur détendue à 6 kilogrammes.

La distribution comporte, pour l'admission, des mécanismes à déclic aux deux premiers cylindres; la détente est placée sous la dépendance du régulateur à force centri-

fuge, au cylindre n° 1 ; elle est réglable à la main au n° 2. Pour les deux cylindres n° 3, le mécanisme de distribution est à liaisons complètes.

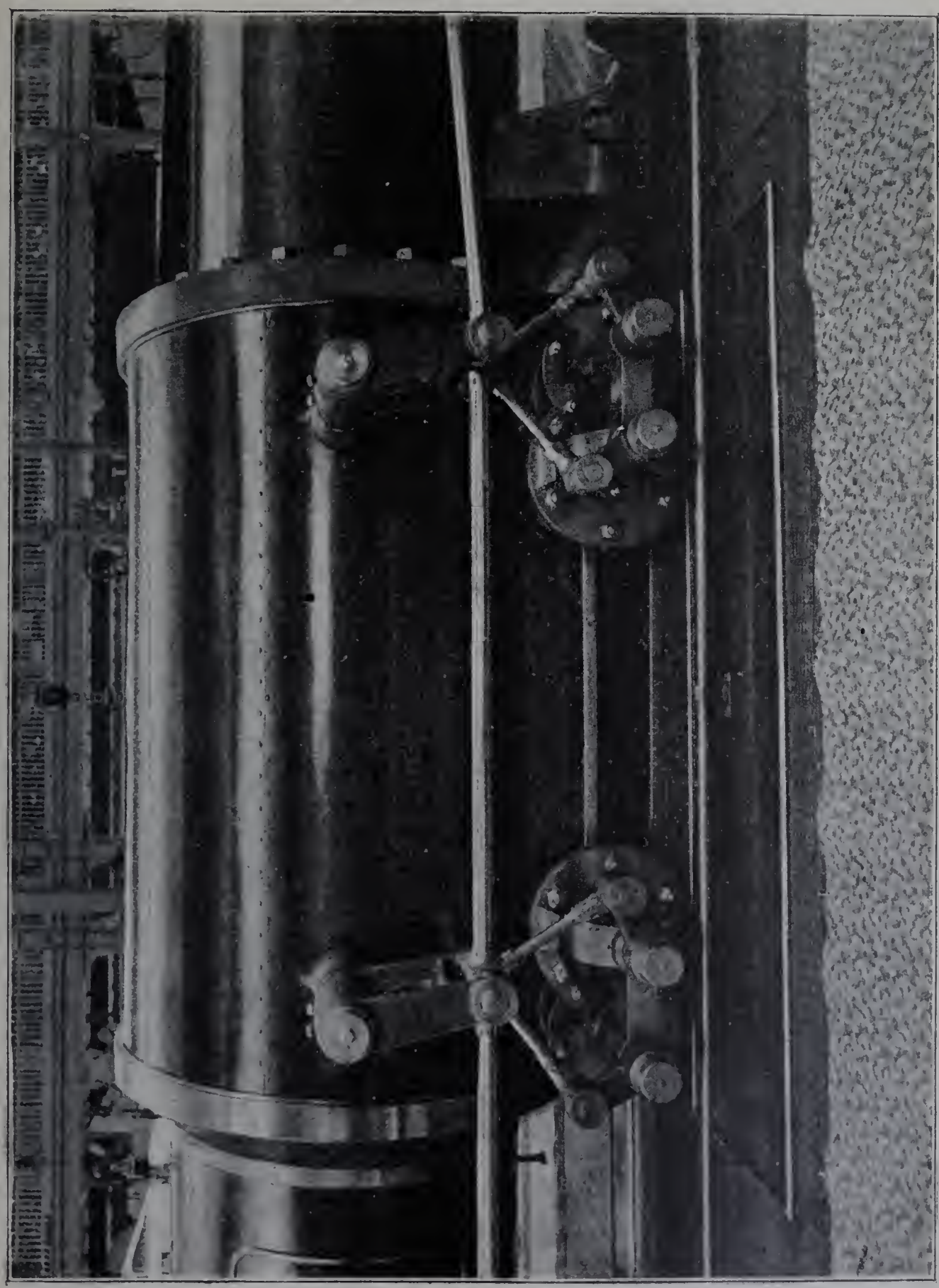


Fig. 474. — Machine Dujardin à triple expansion. — Cylindre de moyenne pression.

A chaque moitié de la machine correspond un condenseur distinct et les tuyauteries sont disposées pour que l'on puisse, au besoin, faire fonctionner un seul côté pendant la réparation de l'autre.

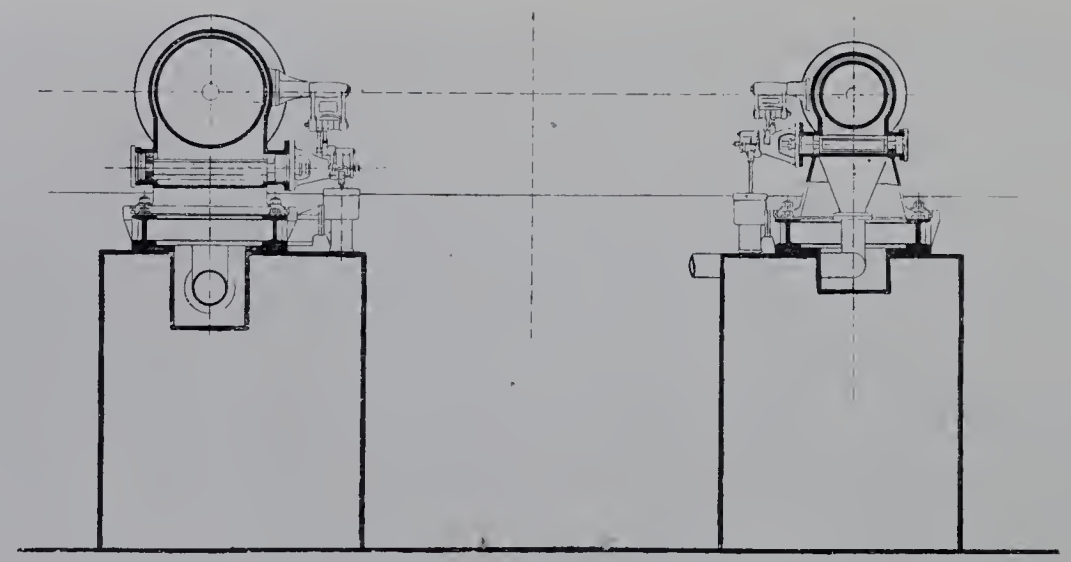


Fig 475. — Coupe transversale par les distributeurs des cylindres de haute et de moyenne pression.

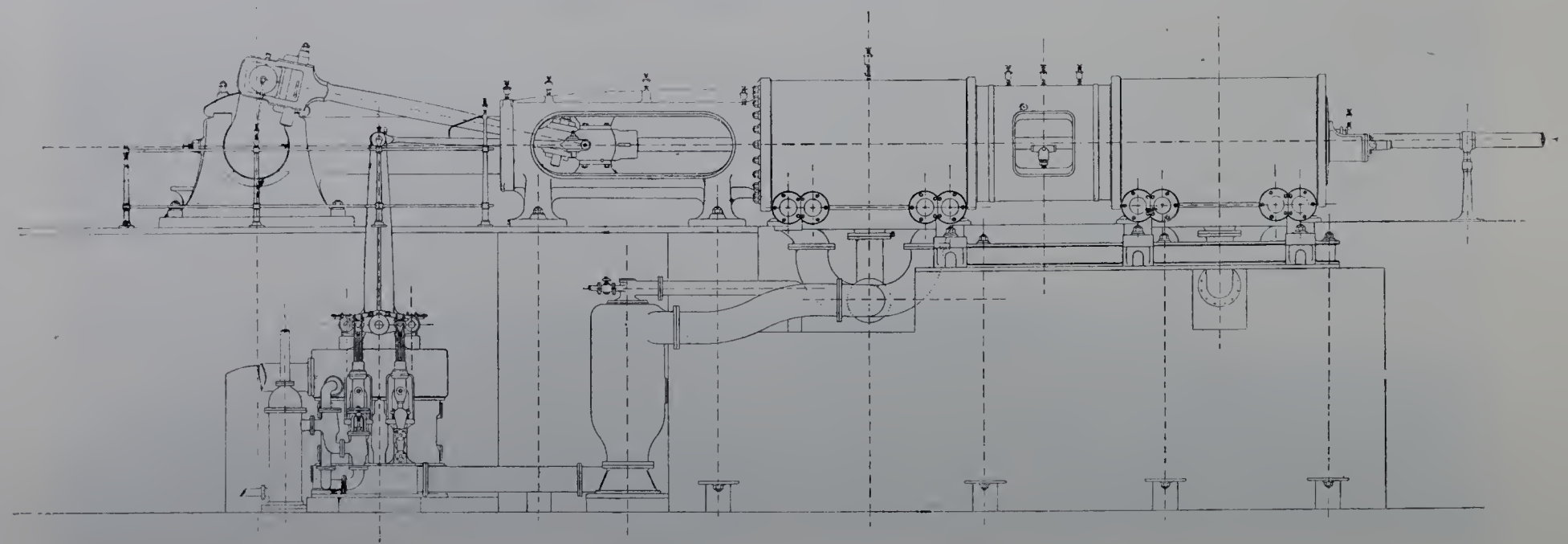


Fig. 476. — Elévation du côté du cylindre de moyenne pression.

MM. Sulzer frères. — Dans le hall de la Section suisse, à proximité de la machine compound tandem dont nous avons décrit les détails, MM. Sulzer frères exposent un

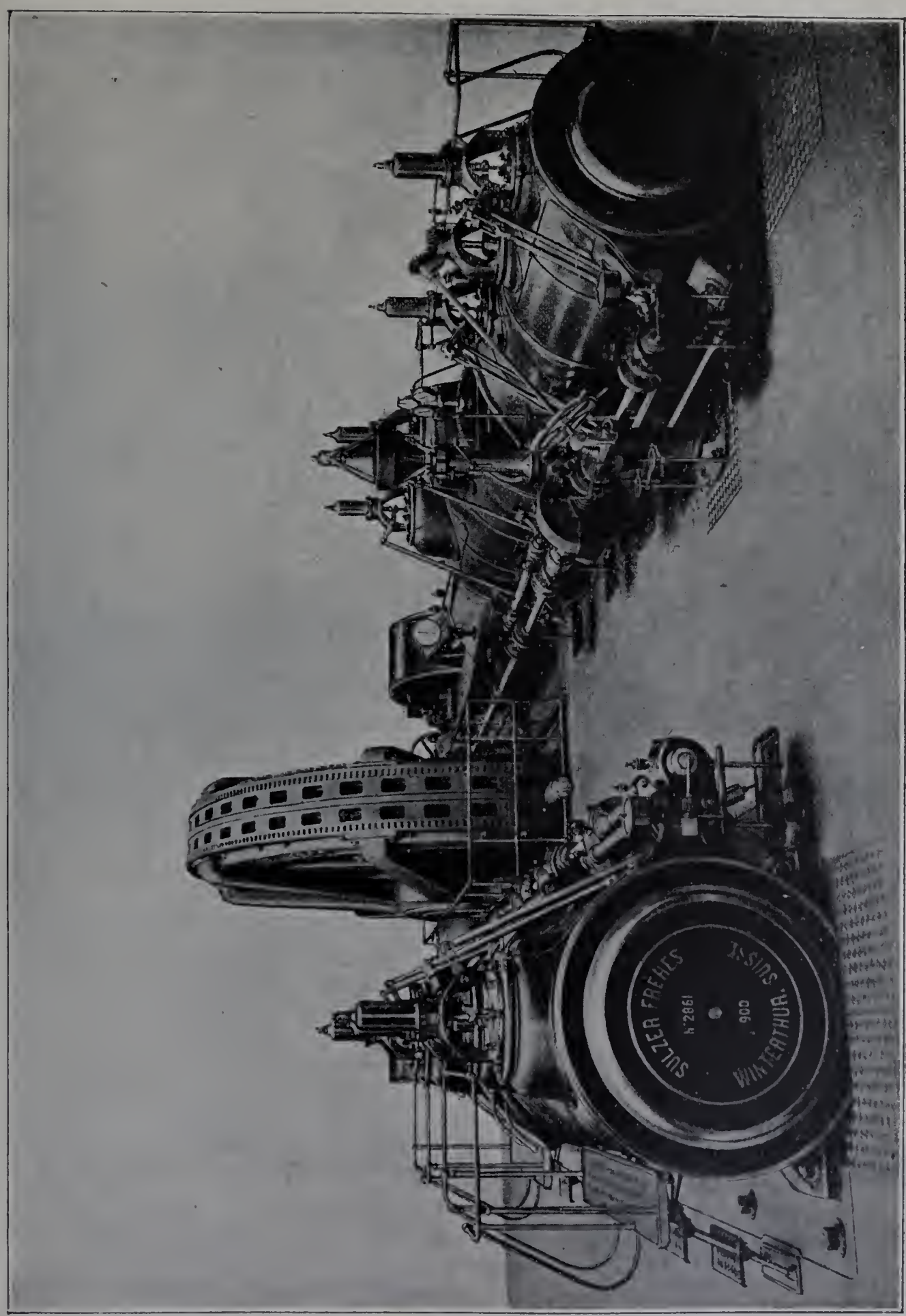


Fig. 477. — Machine horizontale à triple expansion de MM. Sulzer frères.

moteur à triple expansion ayant quatre cylindres groupés comme ceux de la machine Dujardin dont il vient d'être parlé.

La partie médiane de l'arbre porte l'inducteur-volant d'un alternateur de MM. Brown, Boveri et Cie. Les chiffres caractéristiques sont :

$$D_1 = 0^m 60 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.50$$
$$D_2 = 0\ 85 \qquad \frac{L}{D_2} = 1.76$$
$$D_3 = D'_3 = 1\ 025 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2} = \frac{2D_3^2}{5.8}$$
$$L = 1\ 50$$
$$N = 83.5 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m 18$$

Avec une pression initiale de 11 kilogrammes par centimètre carré et une admission de 30 p. 100 au cylindre de haute pression, ce qui fait une expansion totale de 19,3, la machine développe 1,700 chevaux indiqués. La puissance indiquée serait portée à 2,000 chevaux environ par une introduction de 40 p. 100 au petit cylindre.

La fig. 477 montre l'ensemble du groupe électrogène. Le mécanisme de distribution est du type courant actuel de la maison Sulzer; les soupapes d'admission du petit cylindre sont conduites par un système à déclenchement, sous la dépendance d'un régulateur Porter; toutes les autres soupapes sont commandées par des cames calées sur l'arbre de distribution.

Société d'Augsbourg et Nuremberg. — C'est aussi sur un plan général analogue qu'est établie la machine horizontale à triple expansion de la Société des ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg (fig. 478 à 480). Elle tourne à la même vitesse angulaire que la machine Dujardin; les dimensions sont comparables, mais correspondent toutefois pour les cylindres à des volumes un peu plus grands : environ 3 m. c. 300 au lieu de 2 m. c. 900 pour l'ensemble des deux cylindres à basse pression.

$$D_1 = 0^m 70 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.3$$
$$D_2 = 1\ 10 \qquad \frac{L}{D_2} = 1.5$$
$$D_3 = D'_3 = 1\ 15 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.5} = \frac{2D_3^2}{5.4}$$
$$L = 1\ 60$$
$$N = 72 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 83$$

Avec une pression initiale de 12 kilogrammes par centimètre carré et une admission de 1/3 au petit cylindre, ce qui donne une expansion totale de 16,2, la puissance est d'environ 2,000 chevaux indiqués.

Cette machine fait mouvoir l'inducteur, à 84 pôles, d'un alternateur de la Société d'électricité « Helios », de Cologne, à induit denté et à dispositif Scott. C'est un générateur à courant alternatif simple de 2,000 kilovolts-ampères, auquel on a adjoint, pour lui permettre de fournir des courants triphasés, un enroulement auxiliaire dont la tension est à celle de l'enroulement principal dans le rapport $\frac{\sqrt{3}}{2}$ et dont la puissance

apparente est de 1,500 kilovolts-ampères. Le système peut ainsi fournir, à la suite de la transformation Scott, des courants triphasés de 788 ampères chacun sous 1,270 volts, soit au total 3,000 kilovolts-ampères, avec un facteur de puissance de 0,7.

L'inducteur est constitué par un grand volant de fonte, qui ne mesure pas moins de 7 m. 49 de diamètre et 0 m. 80 de largeur à la jante; ce volant est en quatre parties; il est recouvert de flasques en tôle qui contribuent à sa résistance. Tout compris, le diamètre de l'inducteur est de 8 mètres, correspondant à 30 mètres par seconde de vitesse périphérique, et son poids est de 76 tonnes.

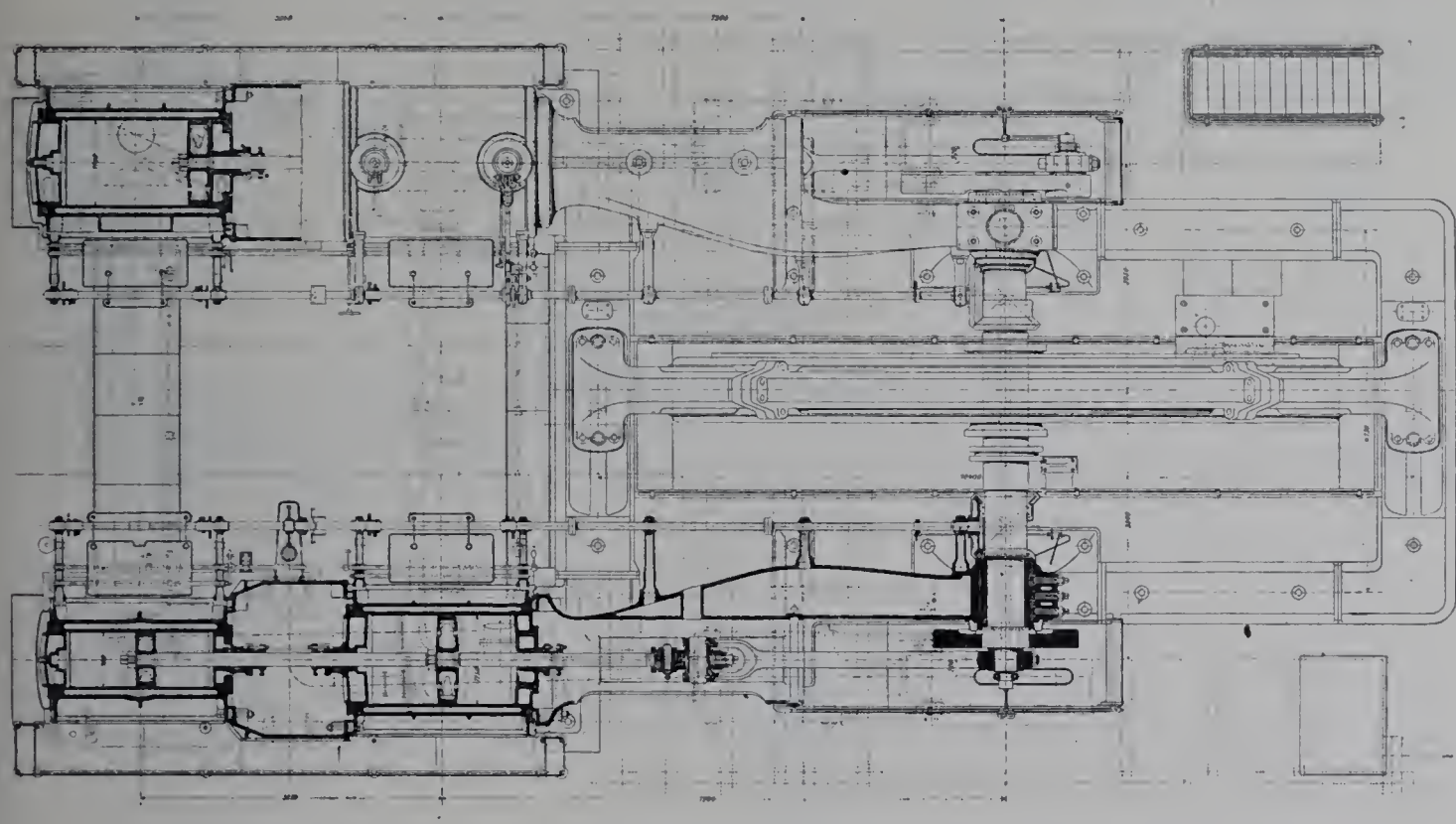


Fig. 478. — Machine horizontale à triple expansion des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. Plan et coupes horizontales.

Les deux lignes de cylindres sont écartées de 6 m. 45 d'axe en axe. L'arbre, fait d'acier au creuset, mesure 0 m. 575 de diamètre dans la partie centrale et 0 m. 475 dans les paliers; il est foré suivant son axe. Son poids, en y comprenant les manivelles équilibrées emmanchées à ses extrémités, est de 17,500 kilogrammes. Les coussinets, en fonte avec couche de métal blanc, sont en quatre pièces avec serrage réglable. Les paliers sont à circulation d'eau dans leur moitié inférieure. Ils sont venus de fonte avec les bâtis à baïonnette.

Les deux cylindres d'une même ligne sont entretoisés par une lanterne qui laisse entre eux un intervalle d'environ 1 m. 50.

Les pistons, en acier moulé, sont munis de garnitures en acier.

Les quatre cylindres sont à enveloppe de vapeur; la chemise est venue de fonte avec l'enveloppe extérieure.

L'alimentation de chaque enveloppe est empruntée à la vapeur se rendant au cylindre correspondant.

La distribution est obtenue au moyen de soupapes à double siège, de grand diamètre. Les dispositions générales du mécanisme sont celles du système Sulzer; toutefois, pour

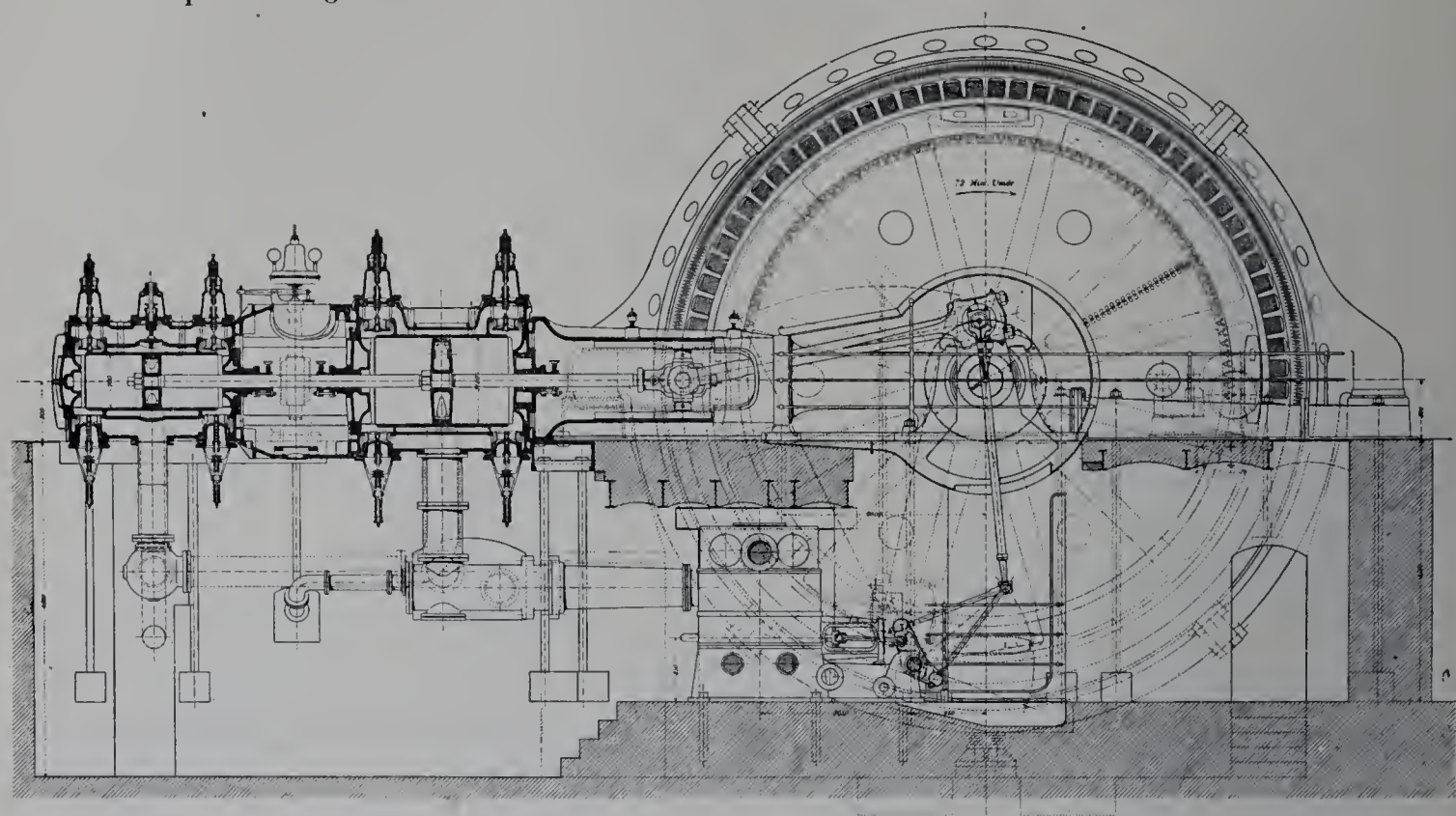


Fig. 479. — Coupe longitudinale par l'axe du cylindre de haute pression.

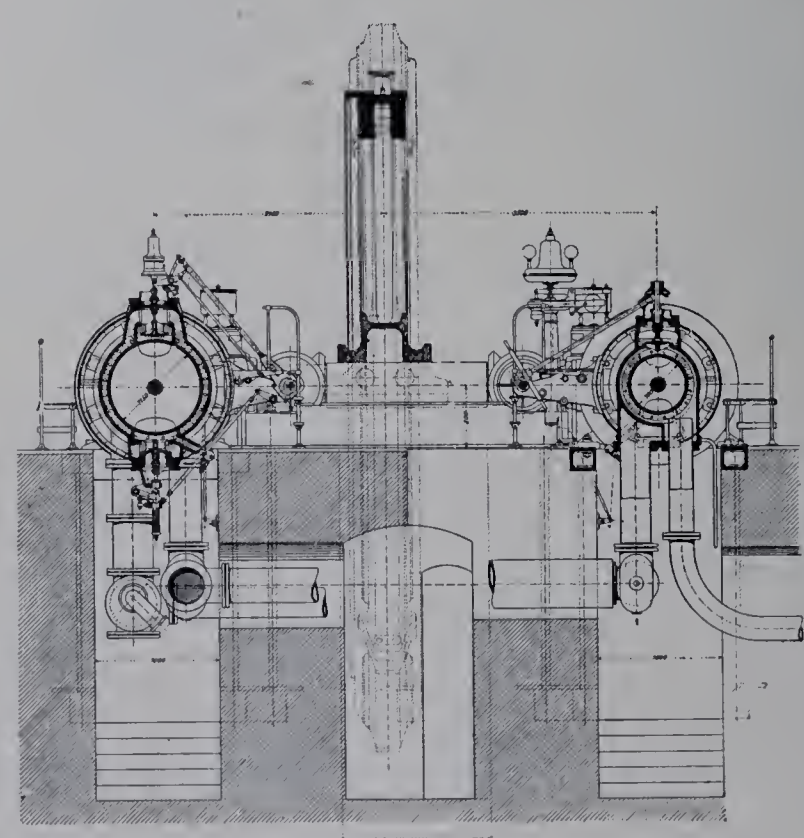


Fig. 480. — Coupes transversales.

la commande des soupapes d'admission, le mouvement latéral d'où résulte le déclenchement est emprunté à un excentrique séparé.

Un régulateur à force centrifuge, installé près de l'extrémité *N* des cylindres de haute

pression, commande l'admission à ce cylindre. Les autres éléments de la distribution sont réglables à la main.

Toutefois, les dispositions sont prises pour que, dans le cas où l'on aurait à isoler le cylindre n° 1 et à prendre l'un des autres pour cylindre admetteur, on puisse transporter sur celui-ci l'action du régulateur.

M. F. Tosi. — Les deux lignes de cylindres rapprochées l'une de l'autre et les bielles agissant sur un arbre coudé, c'est là, pour une grande machine horizontale à triple expansion, un arrangement exceptionnel. Nous en trouvons cependant un exemple dans le moteur de 1,200 à 1,500 chevaux, à 107 tours par minute, exposé dans la Section italienne par M. Franco Tosi, de Legnano (fig. 481 à 487). L'arbre porte, à l'une de ses extrémités, l'induit d'une dynamo à courant continu de la maison Schuckert, de Nuremberg; la puissance de cet appareil est de 684 kilowatts (1,140 ampères sous 600 volts); sur l'autre extrémité est calé un volant de 4 m. 50 de diamètre (vitesse périphérique 25 mètres par seconde).

On pourrait, dans d'autres applications du type, mettre une machine électrique à chaque bout de l'arbre.

Il y a, pour la basse pression, division de la vapeur entre deux cylindres parallèles; les cylindres de haute et de moyenne pression sont adjoints en tandem à chacun des cylindres n° 3, non pas derrière eux, mais devant, à l'ancienne mode. Le groupe compact des quatre cylindres est fortement assemblé, par les fonds *N* de ceux à haute et moyenne pression, avec un bâti composé de deux moitiés symétriques. La juxtaposition de celles-ci forme un bâti en double U, avec trois paliers qui encadrent les deux manivelles : le palier médian appartient par moitié à chacun des demi-bâtis. Les manivelles sont décalées de 90°.

La compacité de l'ensemble est favorable à une grande vitesse de pistons : cette vitesse atteint une moyenne de 4 m. 28 par seconde, ainsi que le montre le tableau ci-après :

$$D_1 = 0^m 525 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.29$$

$$D_2 = 0\ 825 \qquad \frac{L}{D_2} = 1.45$$

$$D_3 = D'_3 = 0\ 975 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.5} = \frac{2D_3^2}{6.9}$$

$$L = 1\ 20$$

$$N = 107 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m 28$$

Au delà de la dynamo, d'un côté, et du volant, de l'autre, des paliers indépendants supportent les extrémités de l'arbre : il y a donc au total 5 paliers. L'arbre, fait d'acier forgé, est en trois tronçons (fig. 484). Un premier tronçon est propre à la dynamo : il repose par un bout dans le palier terminal et se termine à l'autre par un plateau venu de forge au moyen duquel il est boulonné sur le plateau correspondant du deuxième tronçon. Celui-ci repose dans deux paliers et comprend une partie coudée formant

l'une des manivelles. Il se termine, de l'autre côté du palier médian, par une manivelle emmanchée. Enfin le troisième tronçon repose aussi dans deux paliers, entre lesquels il

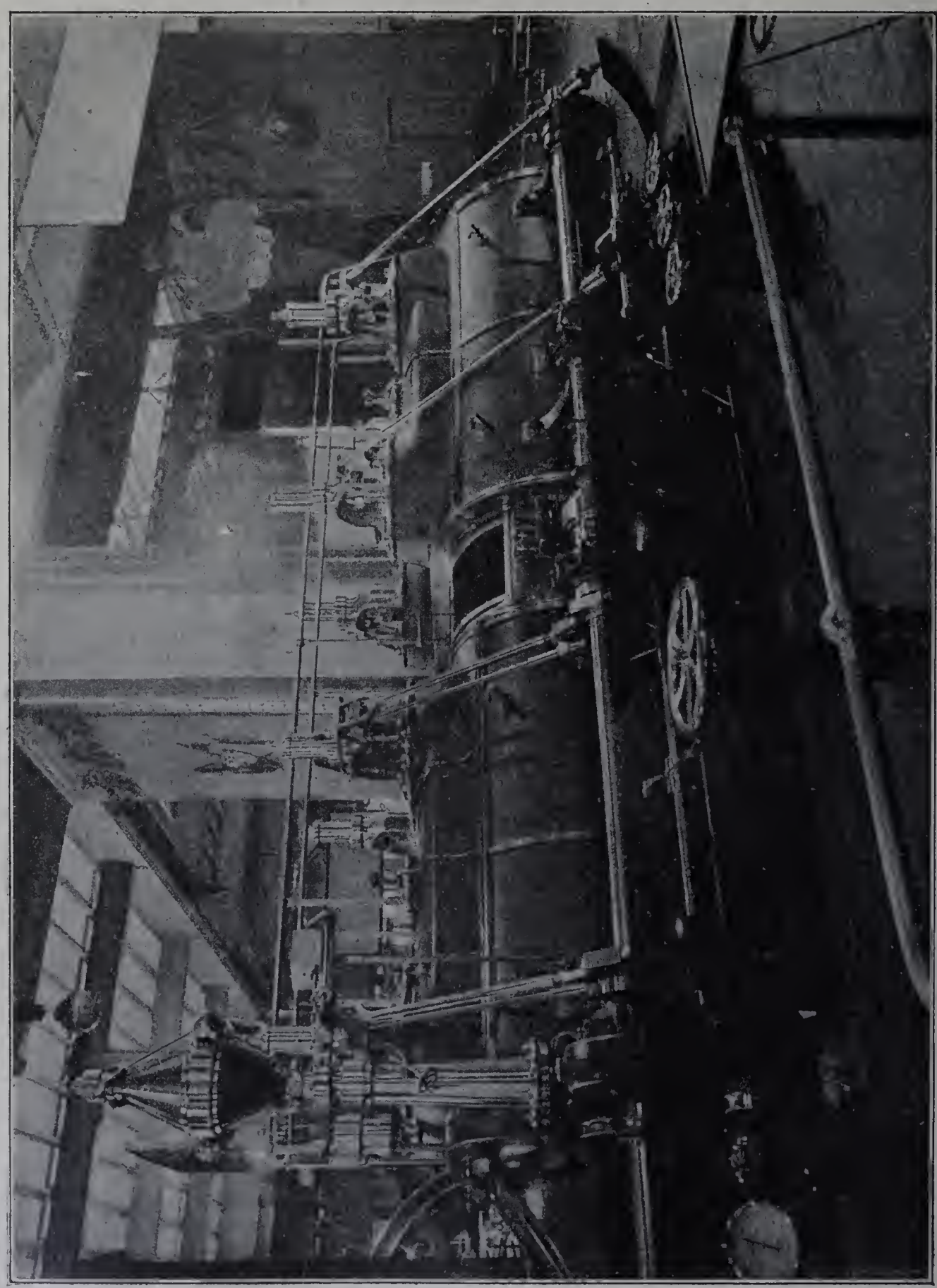


Fig. 481. — Machine horizontale à triple expansion de M. F. Tosi. — Côté du cylindre de haute pression, vu de l'avant.

porte le volant; il est droit et se termine, du côté du tronçon précédent, par une manivelle ayant même tourillon que la manivelle terminale de celui-ci, de manière à former vilebrequin.

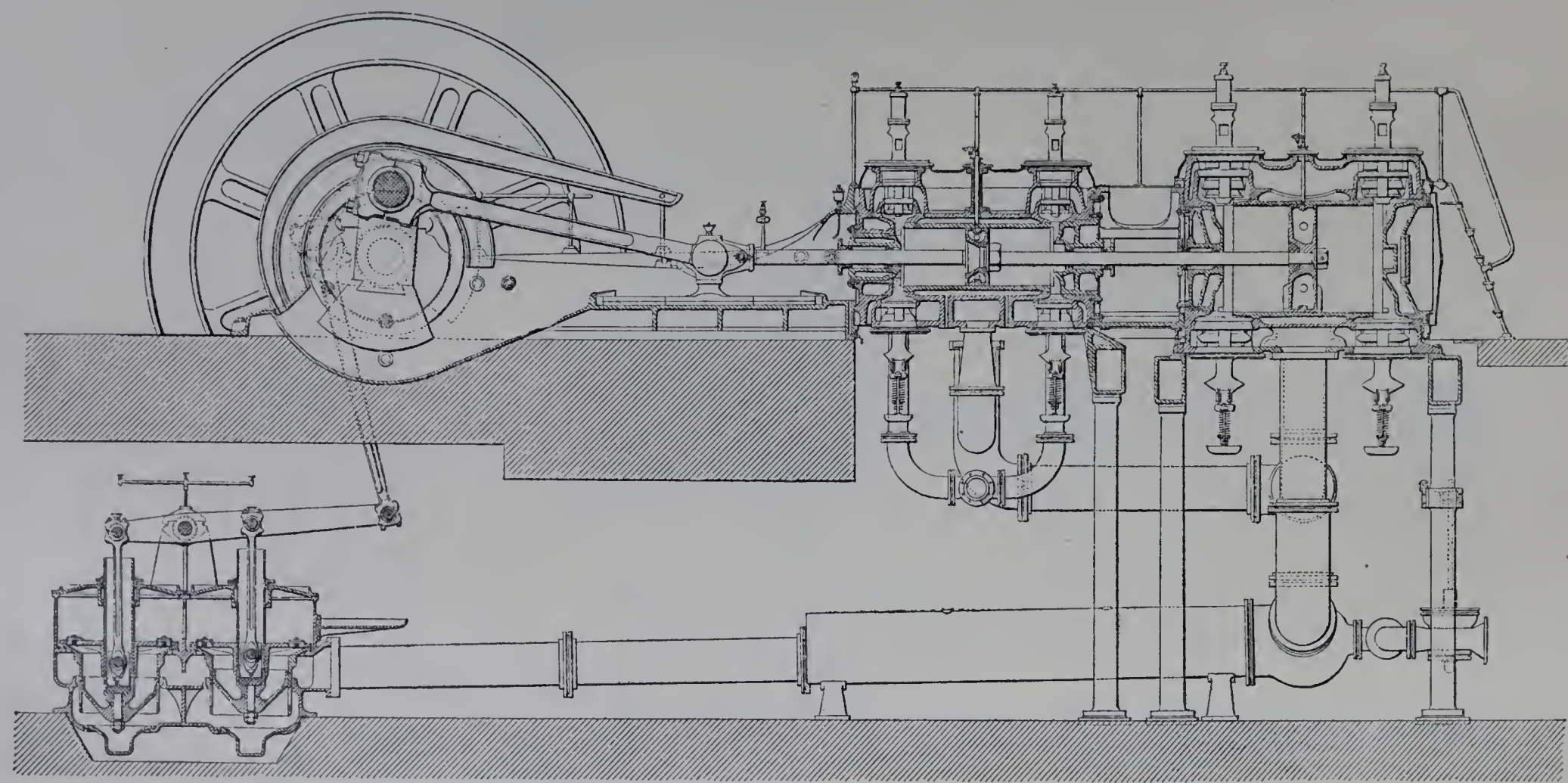


Fig. 482. — Machine horizontale à triple expansion de M. Franco Tosi. — Coupe longitudinale.

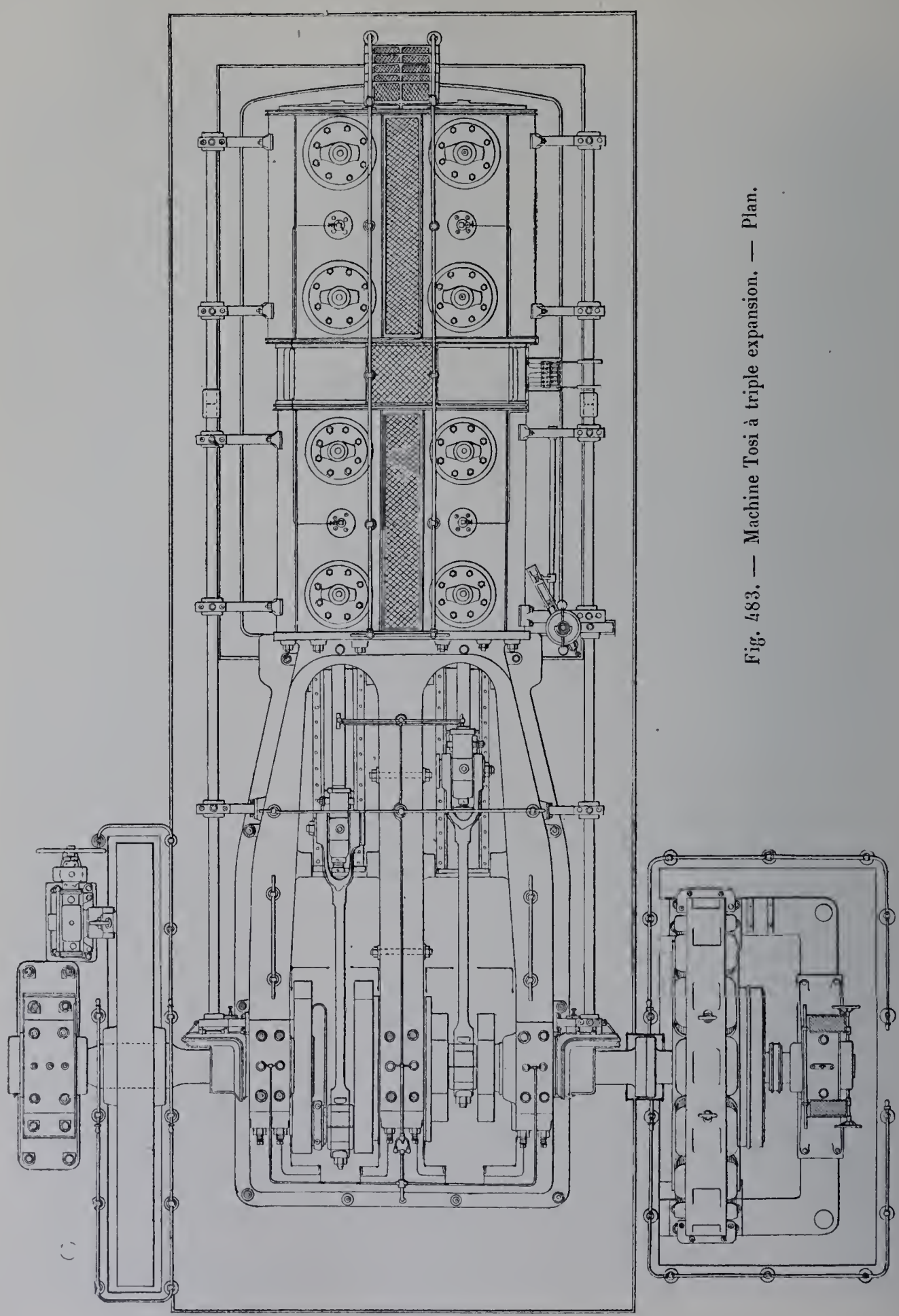


Fig. 483. — Machine Tosi à triple expansion. — Plan.

Les glissières sont plates et disposées comme celles d'une machine verticale. Les pistons des cylindres d'arrière, bien que ce soient les grands cylindres, n'ont pas de

contre-tiges. Les pistons sont creux, d'une seule pièce de fonte, et munis de garnitures à ressorts intérieurs.

La machine est disposée en vue de l'emploi de la vapeur surchauffée. En conséquence, le petit cylindre n'a pas d'enveloppe de vapeur.

Les autres sont pourvus d'enveloppes complètes, fonds et pourtour.

La distribution est tout entière à soupapes. Les soupapes du cylindre n° 1 sont à deux sièges, les autres à quatre. Chacune d'elles est directement chargée par un ressort avec *dash-pot*. Les arbres de distribution qui longent respectivement les deux lignes de cylindres se trouvent, comme conséquence du groupement compact, placés sur les côtés extérieurs de l'ensemble; il faut donc tourner autour de la machine pour passer au complet la revue des pièces de commande de la distribution. Sauf pour l'admission du petit cylindre, chaque soupape est actionnée par un excentrique à onde sur lequel est maintenu en contact un galet roulant. Ce galet est porté à l'extrémité d'une bielle oblique qui va agir sur le levier de soupape, articulé sur un axe fixe.

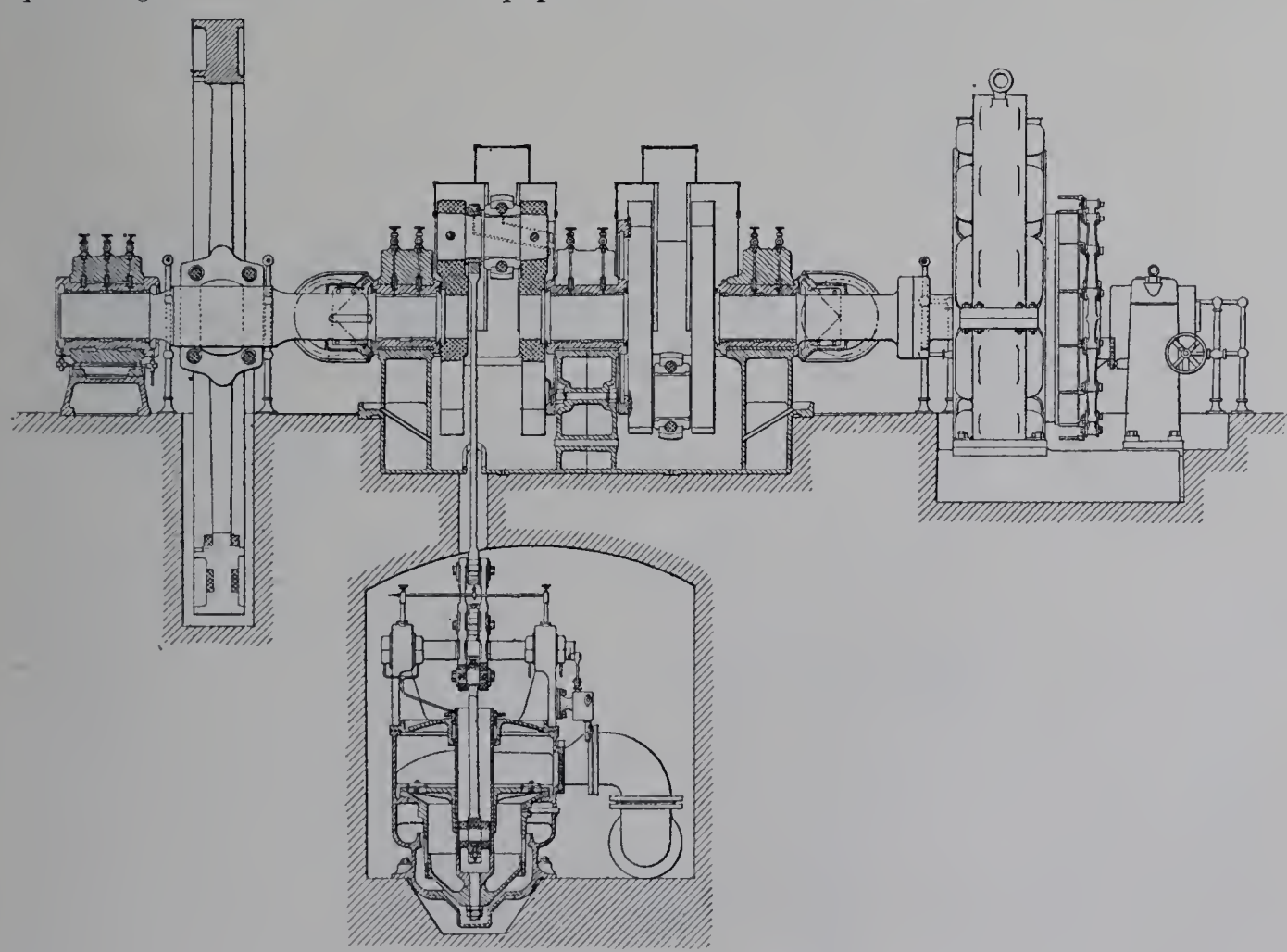


Fig. 484. — Coupes transversales.

Au petit cylindre, les soupapes d'admission sont actionnées par un mécanisme à déclic, sous la dépendance d'un régulateur Porter à grande vitesse, installé à côté de ce cylindre et recevant son mouvement de l'arbre de distribution au moyen d'un engrenage hélicoïdal. Le déclenchement est obtenu par mouvement composé, suivant le système dont nous avons déjà indiqué le principe (fig. 244 et 245) et dont les fig. 485 et 486 donnent les détails. La pièce menante est portée par un bras *c* (fig. 486) qui

oscille autour de l'axe du levier de soupape; le mouvement d'oscillation est donné par la bielle d'un excentrique circulaire calé sur l'arbre de distribution. A l'extrémité de ce

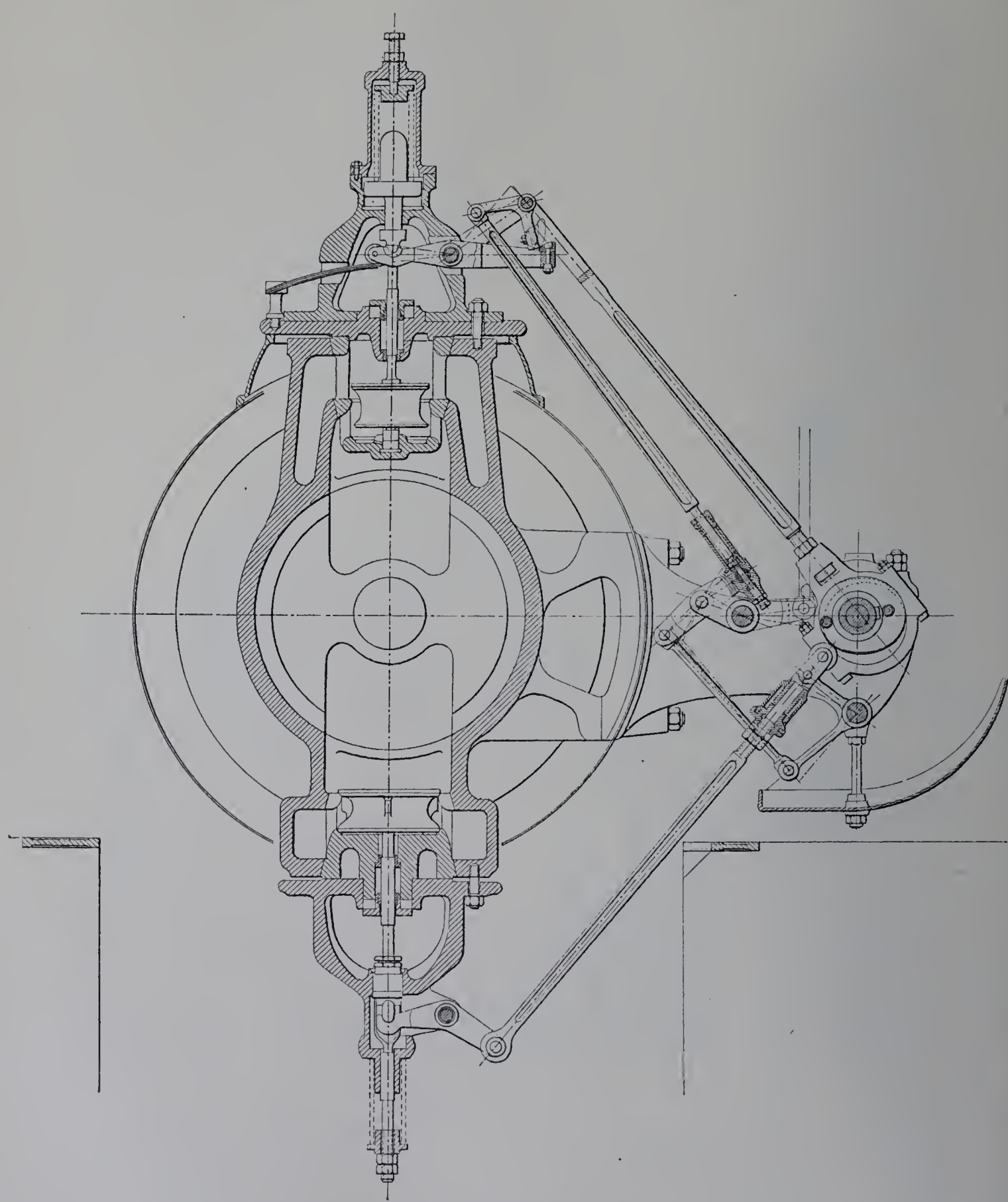


Fig. 485. — Coupe transversale et mécanisme de distribution du petit cylindre.

bras oscillant est articulée une manette en forme de levier coudé portant d'un côté la touche menante, et de l'autre côté, en B, conduit par la barre qui produit le dépla-

cement latéral. D'autre part, le levier de soupape D est composé de deux flasques, à l'extrémité desquelles la touche menée forme traverse.

Le mouvement de la barre produisant le déplacement latéral de la manette entraîneuse est pris sur la bielle de commande de la soupape d'échappement : il est donc donné par l'excentrique à onde qui, en même temps, actionne cette dernière. Depuis le galet qui roule sur l'excentrique à onde jusqu'à la manette, le mouvement passe par l'intermédiaire de deux petits balanciers successifs, dont la fig. 485 montre la disposition et fait comprendre le rôle.

Le premier de ces leviers est celui qui prend le mouvement sur la bielle de la soupape d'échappement; c'est un levier coudé, articulé sur axe fixe; il forme en même temps biellette pour assurer le guidage du galet.

Le second est un levier droit, inversant le mouvement. Son axe d'oscillation est porté, comme le dessin l'indique, par une brimballe dont la position est sous la dépendance du régulateur : c'est ainsi que la loi du mouvement composé de la manette entraîneuse se trouve modifiée en fonction de la vitesse de la machine.

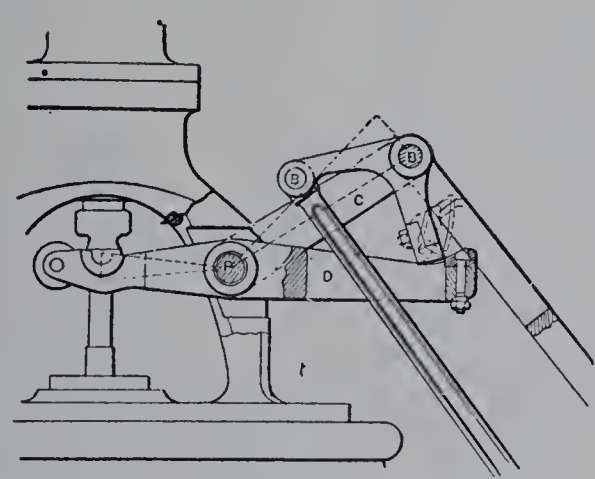


Fig. 486. — Détail du mécanisme de distribution.

La touche dont cette manette est armée décrit une courbe à peu près trapézoïdale. Le contact des deux touches a toujours lieu doucement; la levée de la soupape commence donc à petite vitesse, mais aussitôt s'accélère fortement; à la fin de l'avance à l'admission, lors du passage du piston au point mort, cette levée est de 1/7 de son maximum; la pleine ouverture de la soupape est réalisée quand le piston arrive aux 8/100 de sa course. L'admission peut varier de zéro à 70 p. 100. Elle est normalement de 30 p. 100, ce qui donne 23 d'expansion totale.

On peut, au cours du fonctionnement, modifier à la main la relation entre la vitesse de la machine et le degré d'admission. A cet effet, le manchon du régulateur est chargé d'une masse axiale surabondante, en déduction de laquelle s'exerce l'action d'un levier chargé d'un poids.

Ce poids peut coulisser le long du levier sous l'action d'une vis sans fin; pour faire tourner cette vis, on agit au moyen d'un petit volant à main, non directement, ce qui troublerait le régulateur, mais par l'intermédiaire d'un engrenage d'angle placé au droit

de l'axe d'oscillation du levier et disposé de manière à ne pas entraver la liberté de cette oscillation.

Ce dispositif est visible sur les photographies, fig. 481 et 487.

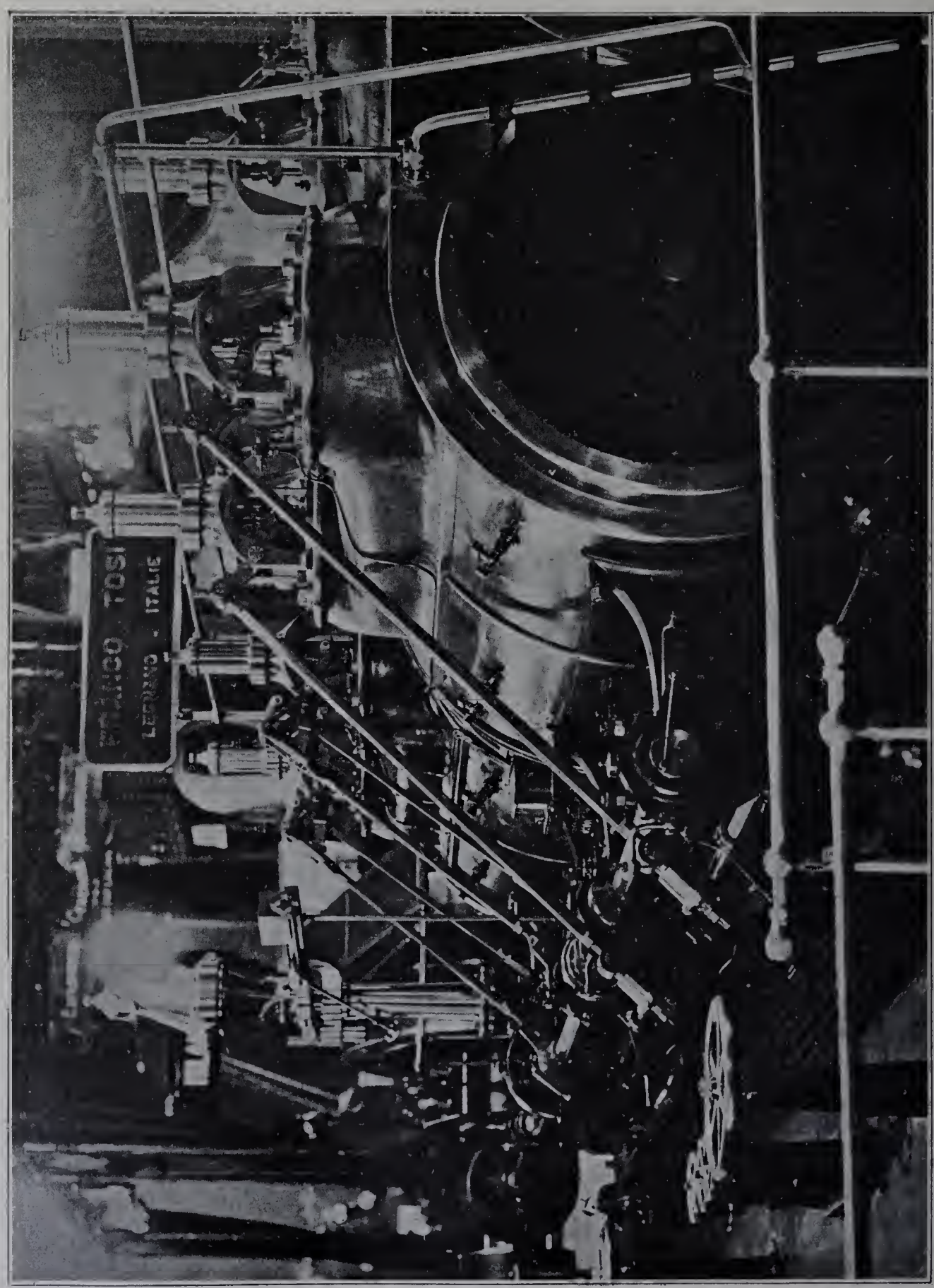


Fig. 487. — Machine horizontale à triple expansion de M. F. Tosi. — Côté du cylindre de haute pression, vu de l'arrière

Bien que les manivelles de cette machine soient à 90°, on dispose, pour la mise au point de départ, d'un virour à vapeur agissant sur une denture intérieure du volant.

MM. Bromley. — Le moteur de 350 chevaux indiqués établi par MM. Bromley frères, de Moscou, nous ramène au type de l'arbre droit recevant à ses extrémités l'action des deux bielles motrices; mais, sur leurs deux lignes parallèles, les cylindres sont groupés d'une façon particulière. D'un côté, on trouve les cylindres n° 1 et n° 2 disposés en tandem, le n° 2 derrière le n° 1; de l'autre côté est le cylindre n° 3, qui n'est pas dédoublé. Il est placé symétriquement par rapport au n° 1; sa tige de piston se prolonge à l'arrière par une contre-tige dont l'extrémité est soutenue par une glissière; c'est là qu'est articulée la tige de commande du condenseur. Les figures 488 à 492 font comprendre les dispositions de cette machine dont les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m34 \qquad \frac{L}{D_1} = 2.4$$
$$D_2 = 0\ 55 \qquad \frac{L}{D_2} = 1.5$$
$$D_3 = 0\ 82 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.6} = \frac{D_3^2}{5,8}$$
$$L = 0\ 81$$
$$N = 92 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m5$$

L'admission normale au petit cylindre est de 28 p. 100, correspondant à une expansion totale de 20,7.

La machine actionne un alternateur à courants triphasés construit par MM. Brown, Boveri et Cie, et offrant une puissance apparente de 410 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,85. Cet alternateur est du type à inducteur mobile extérieur : la partie tournante affecte la forme d'un volant de 4 m. 70 de diamètre et de 70 centimètres de largeur à la jante; celle-ci forme une couronne en encorbellement par rapport aux bras doubles qui la relient au moyeu et cette couronne porte intérieurement les 52 pôles inducteurs. Le volant est fondu en deux moitiés; son moyeu est serré par des frettes et claveté sur le milieu de l'arbre de la machine à vapeur.

Les cylindres sont tous les trois à enveloppe de vapeur complète. Le chauffage de chaque enveloppe est emprunté à la vapeur qui se rend dans le cylindre correspondant.

Le distribution est à soupapes; ce sont des soupapes à double siège. Des arbres de distribution, disposés à la manière ordinaire, longent d'un côté les cylindres de haute et de moyenne pression, de l'autre le troisième cylindre. Sauf pour le cylindre n° 1, la distribution est commandée pour chaque soupape par une came d'acier trempé, calée sur l'arbre de distribution; cette came agit sur un galet qui termine directement la bielle de commande du levier de soupape (échappement) ou qui agit sur cette bielle par l'intermédiaire d'un petit balancier (admission).

Au cylindre n° 1, la commande des soupapes est différente. C'est le mécanisme à liaisons complètes dont la figure 237 a déjà montré l'arrangement. L'arbre de distribution porte, au droit de chaque extrémité du cylindre, un seul excentrique circulaire, qui gouverne à la fois l'admission et l'échappement. Le collier d'excentrique est porté par une courte barre *ll*, à l'extrémité de laquelle est articulée en V la bielle de com-

IMPRIMERIE NATIONALE.

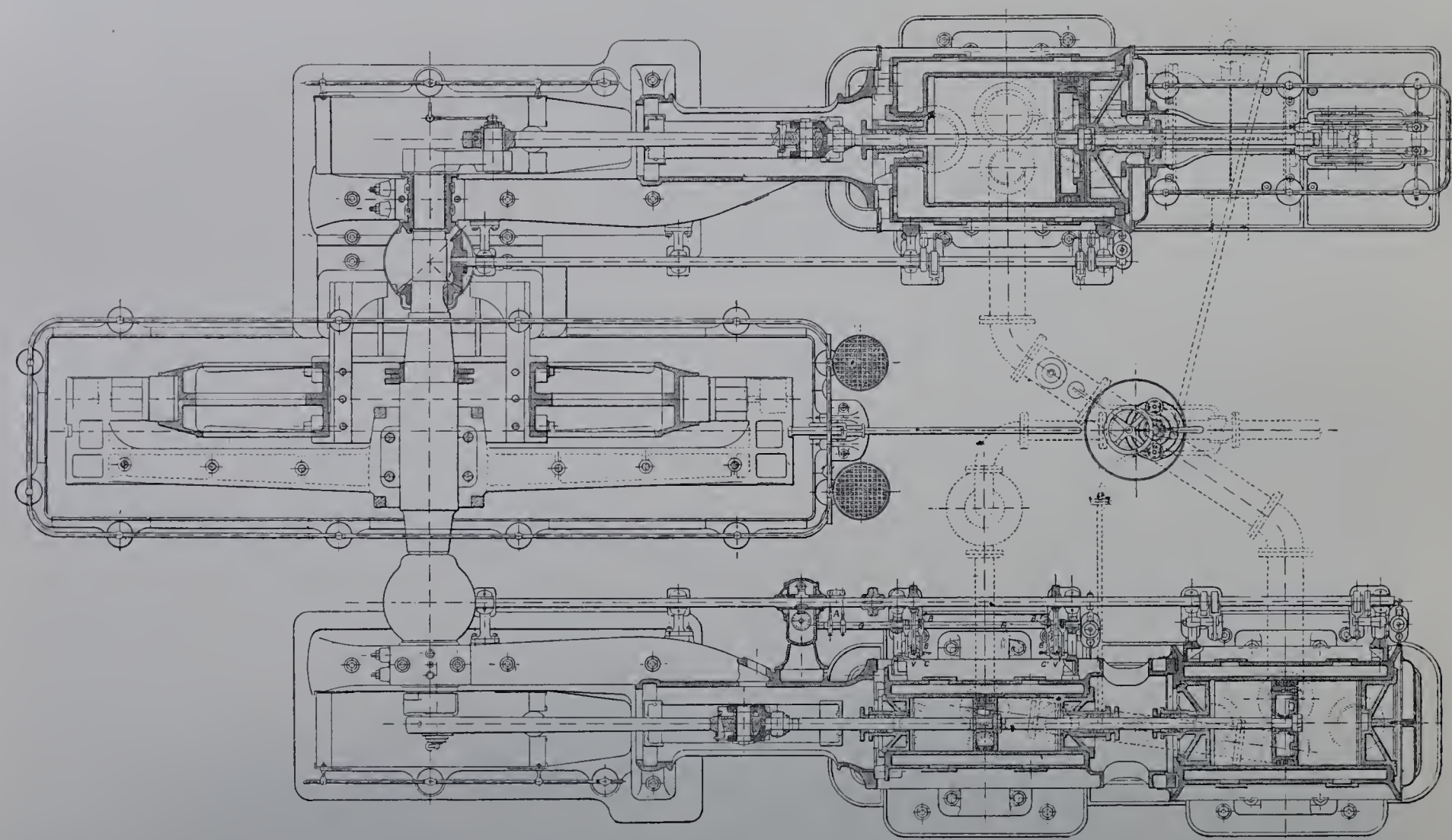


Fig. 488. — Machine à triple expansion de MM. Bromley frères. — Plan et coupes horizontales.

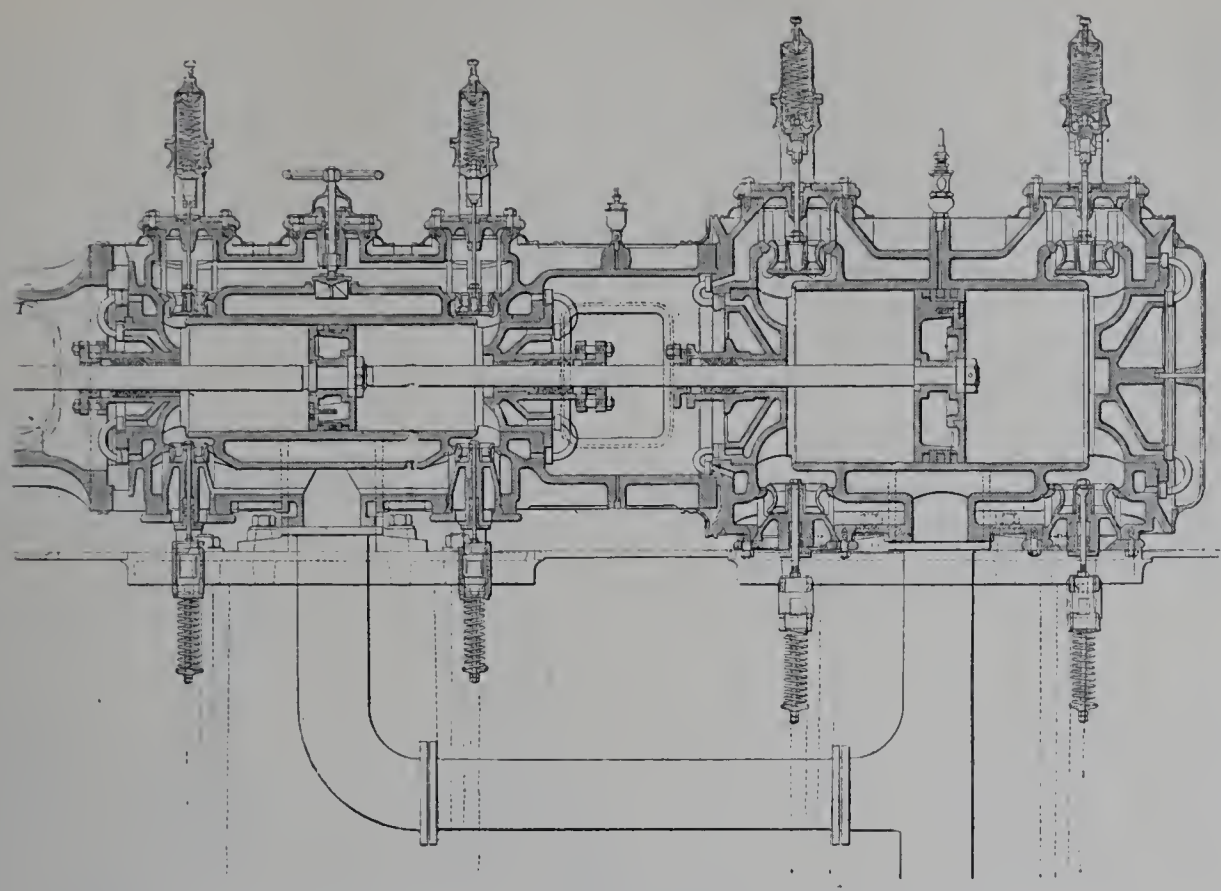


Fig. 489. — Coupe verticale par l'axe des cylindres de haute et moyenne pression.

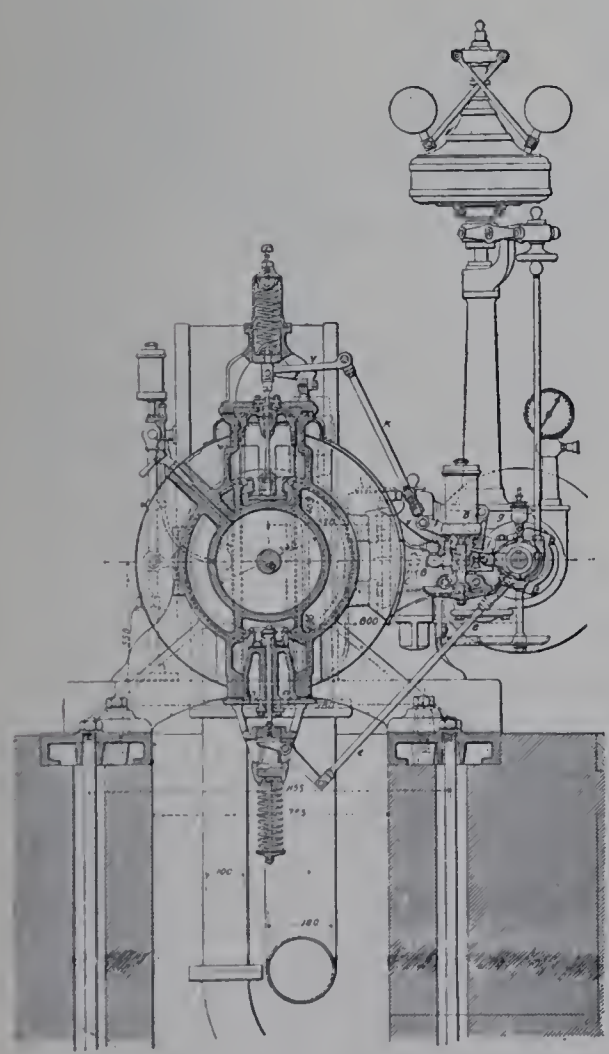


Fig. 490. — Coupe transversale du cylindre de haute pression.

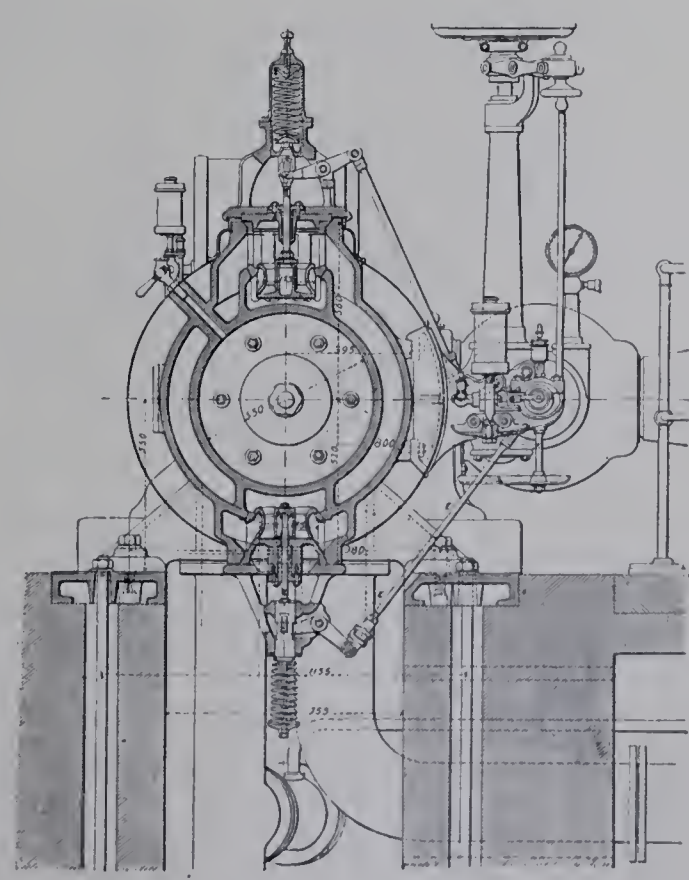


Fig. 491. — Coupe transversale du cylindre de moyenne pression.

mande *k* de la soupape d'admission. Le point *f* de cette barre est relié par une biellette *r* à un point fixe *g* et se trouve assujetti, par conséquent, à se mouvoir suivant un arc de cercle. Cette liaison achève de déterminer le mouvement du collier d'excentrique et de sa barre. L'extrémité inférieure de la bielle d'admission décrit en conséquence une orbite allongée; cette bielle agit sur la soupape correspondante par l'intermédiaire d'un levier roulant.

Pour l'échappement, le mouvement est pris sur une oreille du collier d'excentrique; la bielle *ee* fait osciller, autour d'un axe fixé au support de soupape, un levier coudé dont une des branches forme came glissante sous la table horizontale d'un étrier intercalé sur la tige de la soupape.

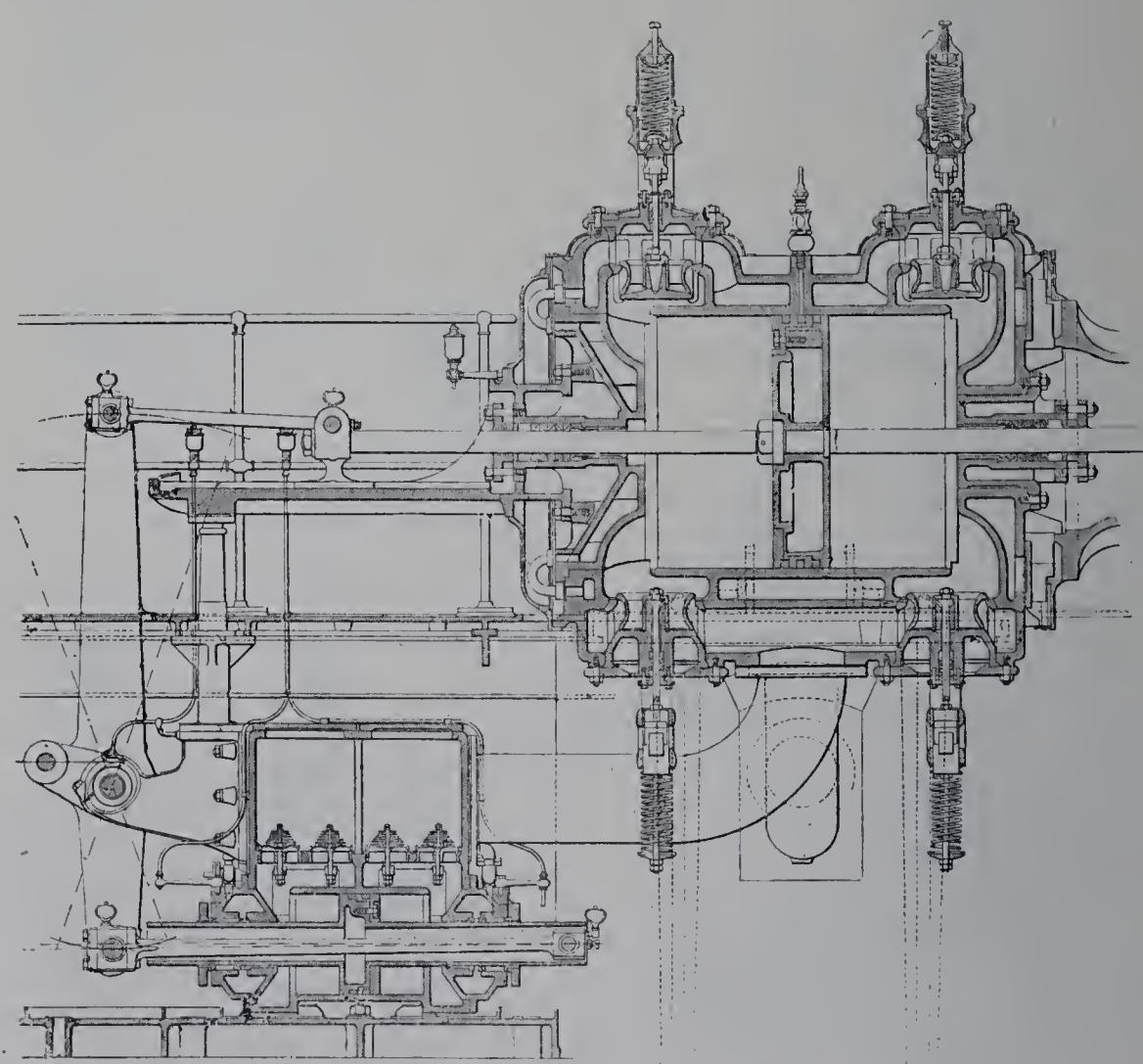


Fig. 492. — Coupes verticales du cylindre de basse pression et du condenseur.

Nous avons ditque la barre d'excentrique *ll* est guidée par une biellette *r* qui relie son point *f* à un point fixe *g*. En réalité ce point *g* est l'extrémité d'un bras B porté par un arbre auxiliaire G qui longe le petit cylindre à petite distance de l'arbre de distribution et dont l'orientation est placée sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge monté à côté et à l'avant du cylindre. Quand la position du point fixe change, l'arc de cercle que le point *f* de la barre d'excentrique décrit se trouve modifié dans sa direction moyenne; l'orbite de l'extrémité inférieure V de la bielle d'admission *k* varie en conséquence d'amplitude et d'orientation. Cette déformation de trajectoire est telle que la

soupape prend toujours sensiblement la même levée maximum, bien que la durée de l'ouverture puisse varier de zéro à 60 p. 100 de la course.

L'intervention du levier roulant assure, quel que soit le degré d'introduction, la douceur de la fermeture.

La trajectoire de l'extrémité supérieure de la bielle d'échappement se trouve modifiée en même temps que l'autre, mais les modifications sont moindres; l'avance à l'échappement et la compression conservent respectivement des valeurs voisines de 10 p. 100 et de 12 p. 100 de la course.

Le régulateur est d'un type pseudo-astatique, à bras renversés et à bielles supérieures croisées. Les mouvements de son manchon sont freinés par une cataracte montée sur un deuxième bras B que porte l'arbre G. La longueur de la tige de transmission R qui le relie à cet arbre est réglable au moyen d'un volant à main W.

Types verticaux. — *Ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg.* — On a décrit ci-dessus la machine verticale à double expansion, de 1,500 chevaux, construite à Nuremberg par la Société des Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg. La magnifique exposition de cette société comprend un moteur de type analogue, mais plus puissant et à triple expansion, fabriqué dans les ateliers d'Augsbourg (fig. 493 à 500). Ce moteur a été étudié pour développer, étant alimenté de vapeur à la pression effective de 10 kilogr. par centimètre carré, 3,000 chevaux à 100 tours par minute. A l'Exposition, la fréquence des courants à produire par l'alternateur qu'il actionne ne permet de le faire tourner qu'à raison de 83,3 tours par minute. Il est, d'autre part, alimenté sous la pression effective de 8 kilogrammes seulement. Dans ces conditions et pour une admission de 40 p. 100 au petit cylindre, ce qui correspond à 25 d'expansion totale, sa puissance est de 2,000 chevaux indiqués.

On se représentera immédiatement les dispositions générales de cette machine, en imaginant qu'un troisième cylindre soit placé à la suite des deux cylindres de la machine à double expansion et que l'arbre coudé, au lieu de deux manivelles à 180°, en ait trois à 120°. Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m775 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.42$$
$$D_2 = 1\ 240 \qquad \frac{L}{D_2} = 0.89$$
$$D_3 = 1\ 800$$
$$L = 1\ 100 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.56} = \frac{D_3^2}{5.39}$$
$$N = 83.3$$
$$\frac{2LN}{60} = 3^m05$$

De chaque côté de la machine se trouve un volant et, à la suite, la partie tournante d'une machine électrique construite par la maison Schuckert. D'un côté, c'est l'inducteur d'un alternateur triphasé d'une puissance apparente de 850 kilovolts-ampères; cet inducteur, en forme de volant de fonte portant extérieurement sur sa jante 72 pôles d'acier, mesure 5 m. 48 de diamètre; sa vitesse périphérique est de 24 mètres

par seconde; il pèse 26 tonnes. De l'autre côté, c'est l'induit d'une dynamo à courant continu, dont la puissance normale serait de 900 kilowatts à 100 tours par minute,

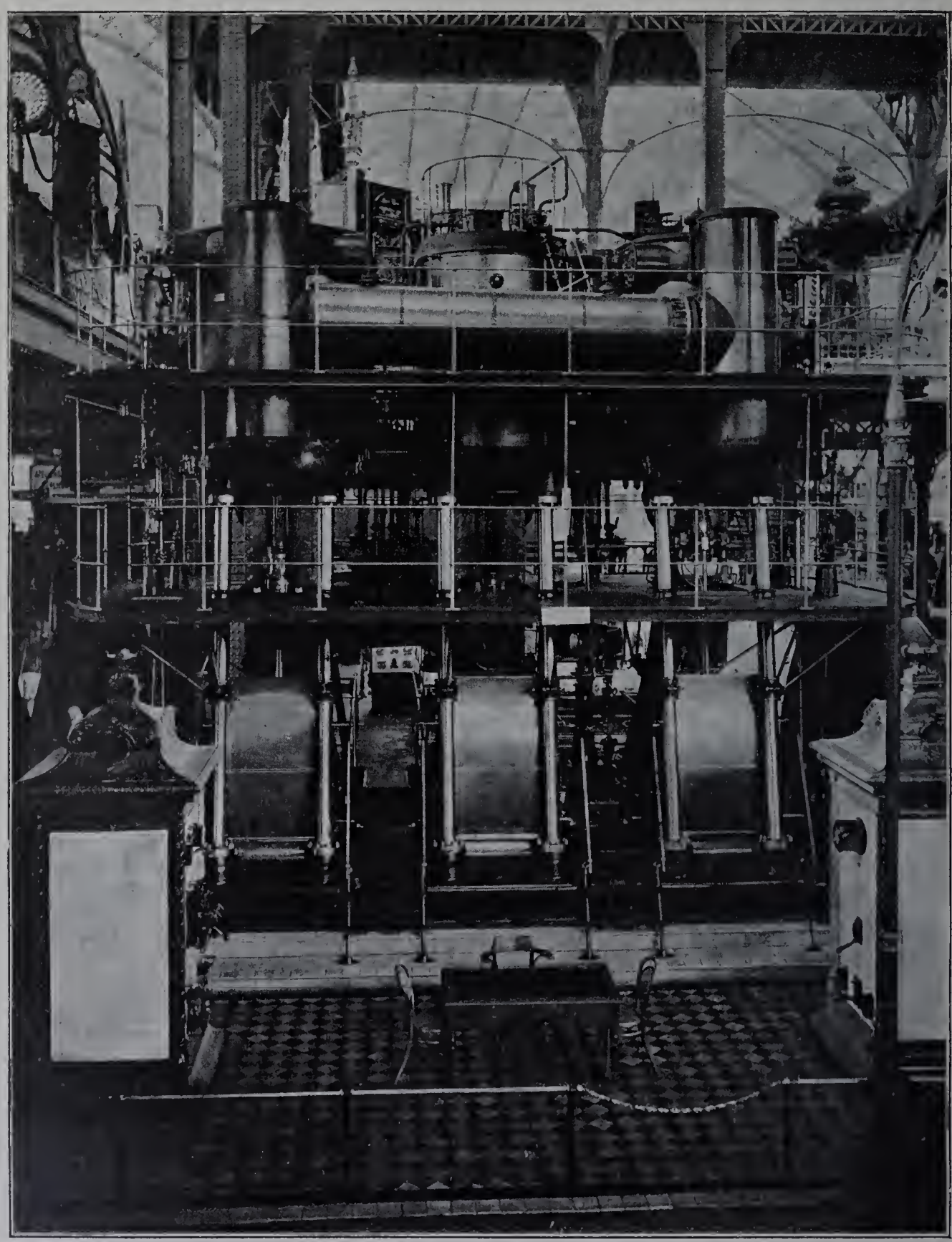


Fig. 493. — Machine verticale à triple expansion de la Société des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg.

mais qui à la vitesse de 83 tours 3/10 ne donne que 750 kilowatts (1,500 ampères sous 500 volts); le poids de cet induit est de 16 tonnes. L'ensemble forme ainsi un groupe électrogène mixte, apte à tous les services d'une station centrale.

L'arbre propre à la machine est assujetti dans six paliers, deux de part et d'autre de chacune des manivelles. Il est, en réalité, composé de deux tronçons, l'un comprenant deux parties coudées, l'autre une seule; ces deux tronçons sont rendus solidaires par l'assemblage, au moyen de boulons, de deux plateaux venus de forge. Cet arbre, de 38 centimètres de diamètre, pèse 14 tonnes. Sur ses extrémités, au delà des longs paliers qui font suite aux manivelles extrêmes, il porte les deux volants et deux plateaux venus de forge sur lesquels les arbres des machines électriques viennent s'assembler dans son prolongement. Les volants, mesurant 5 m. 10 de diamètre et 35 centimètres de largeur à la jante, pèsent à eux deux 40 tonnes. Les arbres des machines électriques sont supportés chacun par deux paliers. Par conséquent, au total, la ligne d'arbres repose dans dix paliers; elle mesure 17 mètres de longueur et l'ensemble du système tournant pèse 94 tonnes.

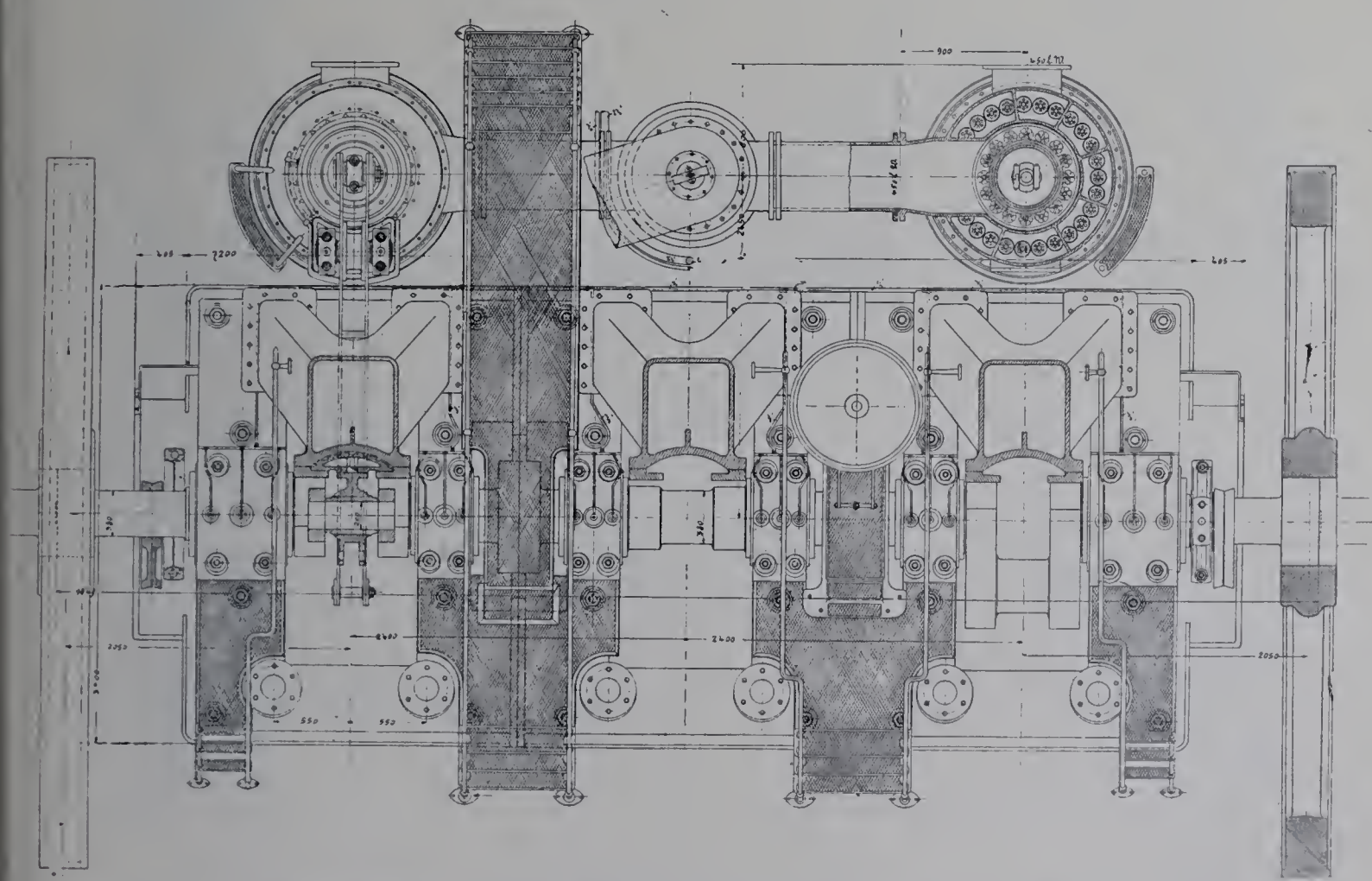


Fig. 494. — Machine verticale à triple expansion de la Société des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. Plan et coupes horizontales.

Les trois bâtis, du même type que ceux de la machine à double expansion, sont solidement assis sur trois plaques de fondation juxtaposées.

Les deux paliers encadrant chaque manivelle sont venus de fonte avec la plaque de fondation correspondante.

Le cylindre de haute pression est placé entre les deux autres; un gros conduit horizontal, de 4 m. 80 de longueur, est disposé à l'avant de la plate-forme supérieure, pour relier les cylindres de moyenne et de basse pression et leur servir de

réservoir intermédiaire. Les cylindres n° 1 et n° 2 sont à enveloppe de vapeur complète; au n° 3, les fonds seuls sont chauffés.

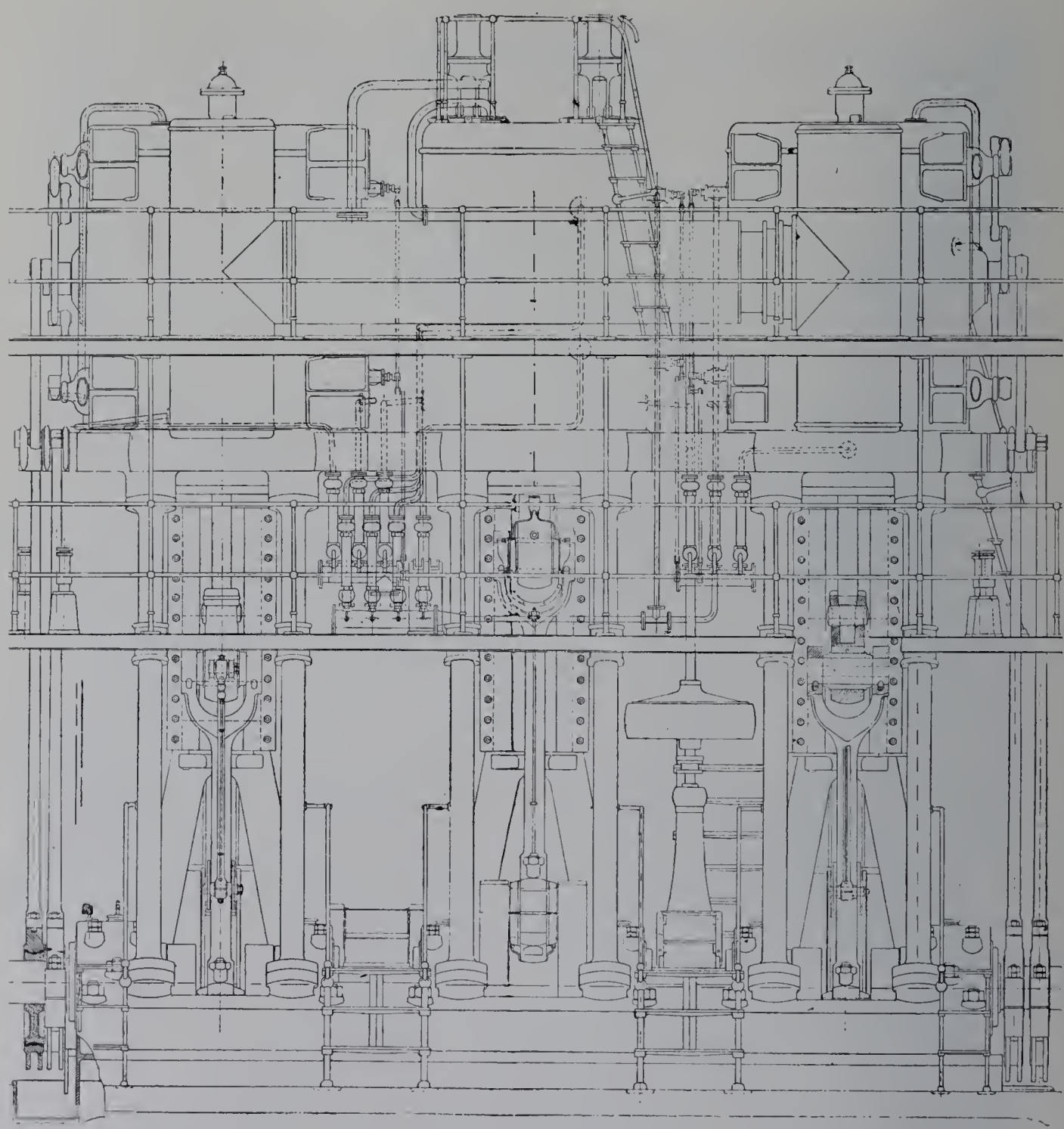


Fig. 495. — Elévation de face.

La position respective des cylindres facilite l'arrangement de la distribution, qui est à soupapes pour la haute pression et à tiroirs Corliss pour la moyenne et la basse, suivant le même principe que dans la machine à double expansion. On peut ainsi retirer les tiroirs Corliss de leurs logements; les excentriques qui les font mouvoir prennent place sans difficulté aux extrémités de la machine, tandis que les soupapes du cylindre placé au centre sont actionnées par un arbre de distribution horizontal installé derrière ce cylindre et auquel le mouvement de rotation de l'arbre moteur est transmis par l'intermédiaire d'un arbre auxiliaire vertical et d'engrenages hélicoïdaux.

Le déclenchement des soupapes d'admission est placé sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge, qui peut faire varier l'introduction de zéro à 40 p. 100. Aux cylindres de moyenne et de haute pression, la détente est réglable à la main.

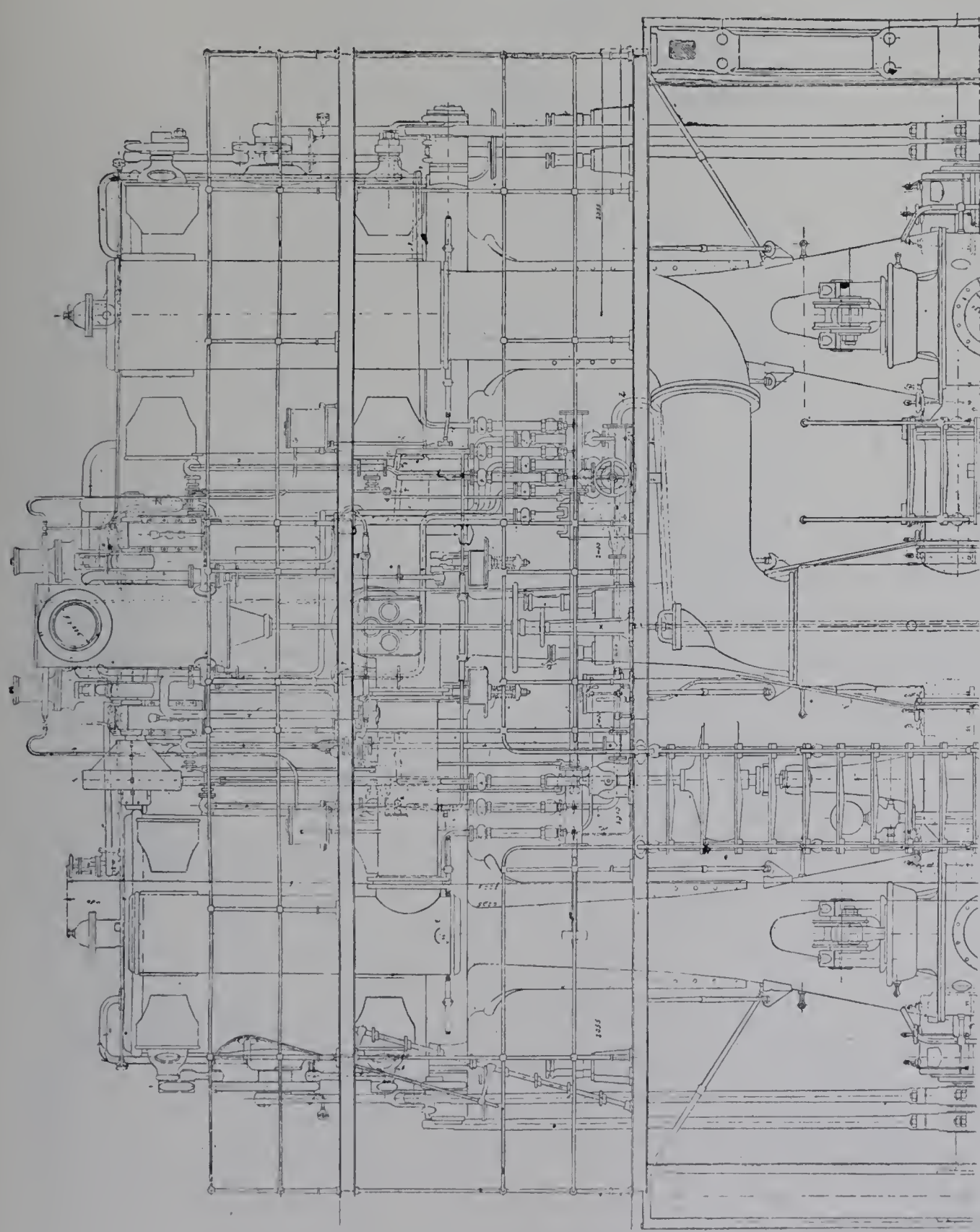


Fig. 496. — Elévation postérieure.

Des tuyaux dépiqueurs sont disposés de manière à pouvoir, au besoin, faire démarrer la machine dans toutes les positions. Néanmoins, il y a un vireur pour la mise au point de départ : c'est un moteur électrique, actionnant par vis sans fin un pignon basculant, qui peut venir en prise avec une denture intérieure portée par un des volants.

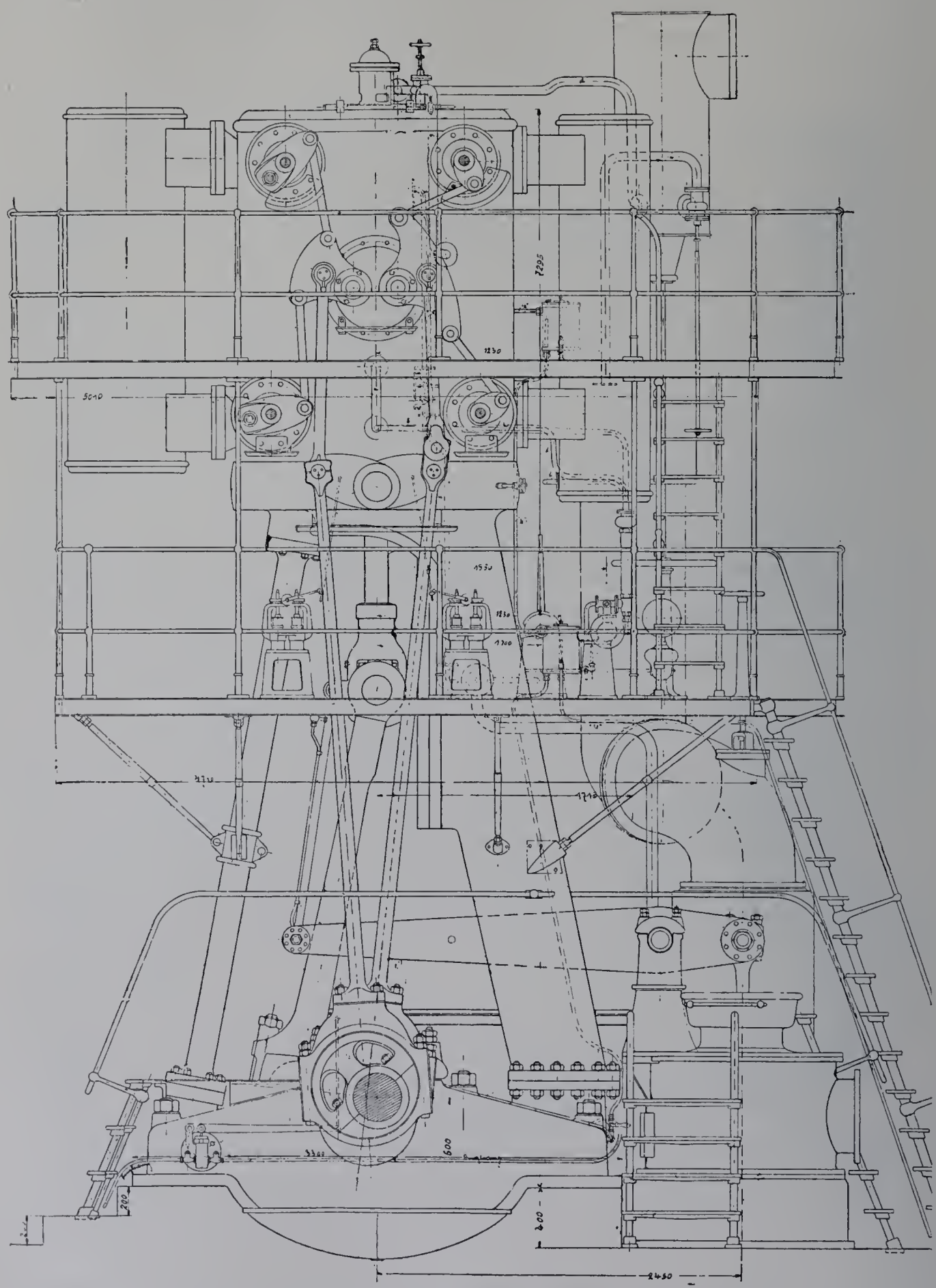


Fig. 497. — Élévation latérale, côté du cylindre de moyenne pression.

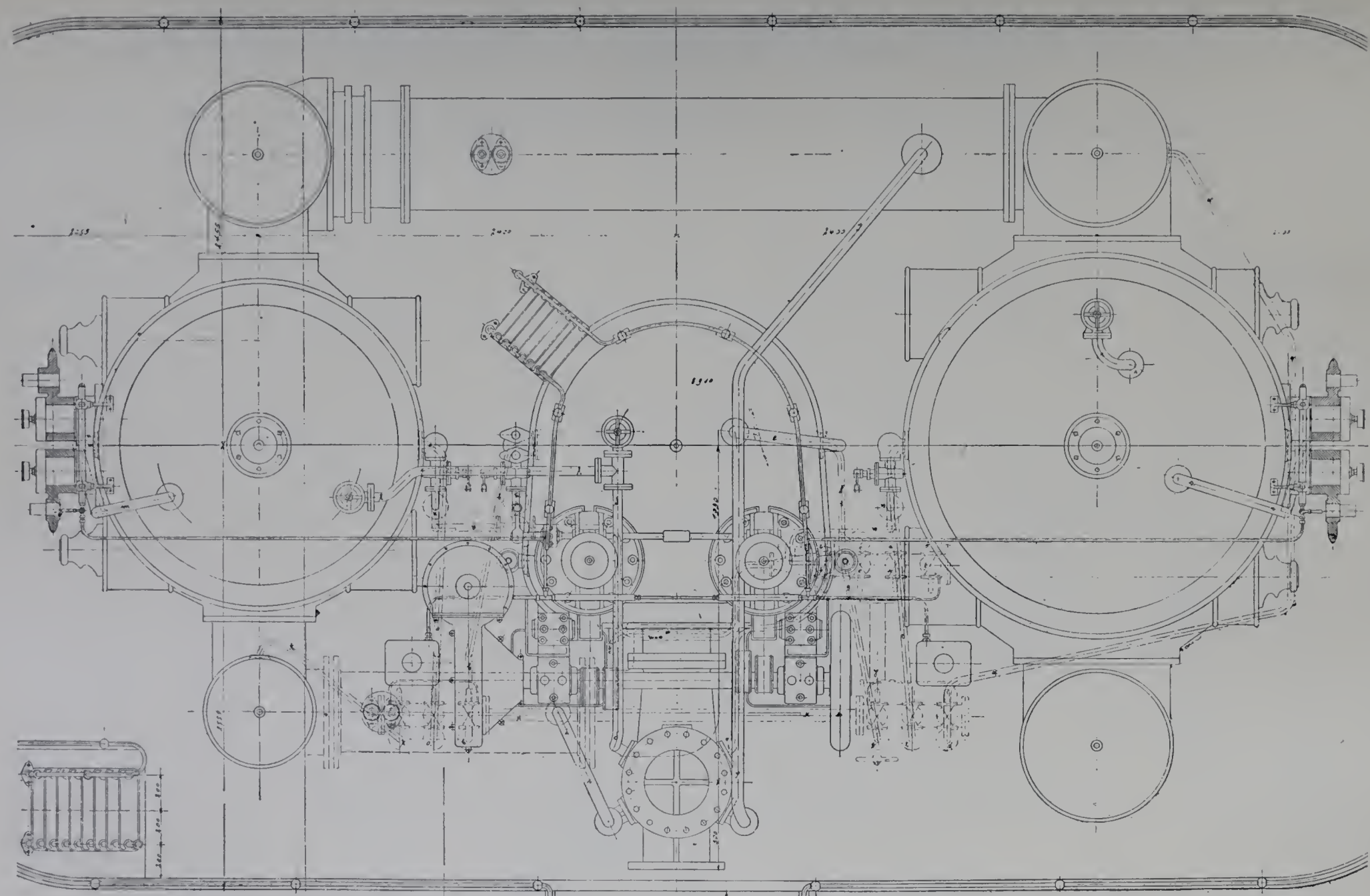


Fig. 498. — Plan de la partie supérieure.

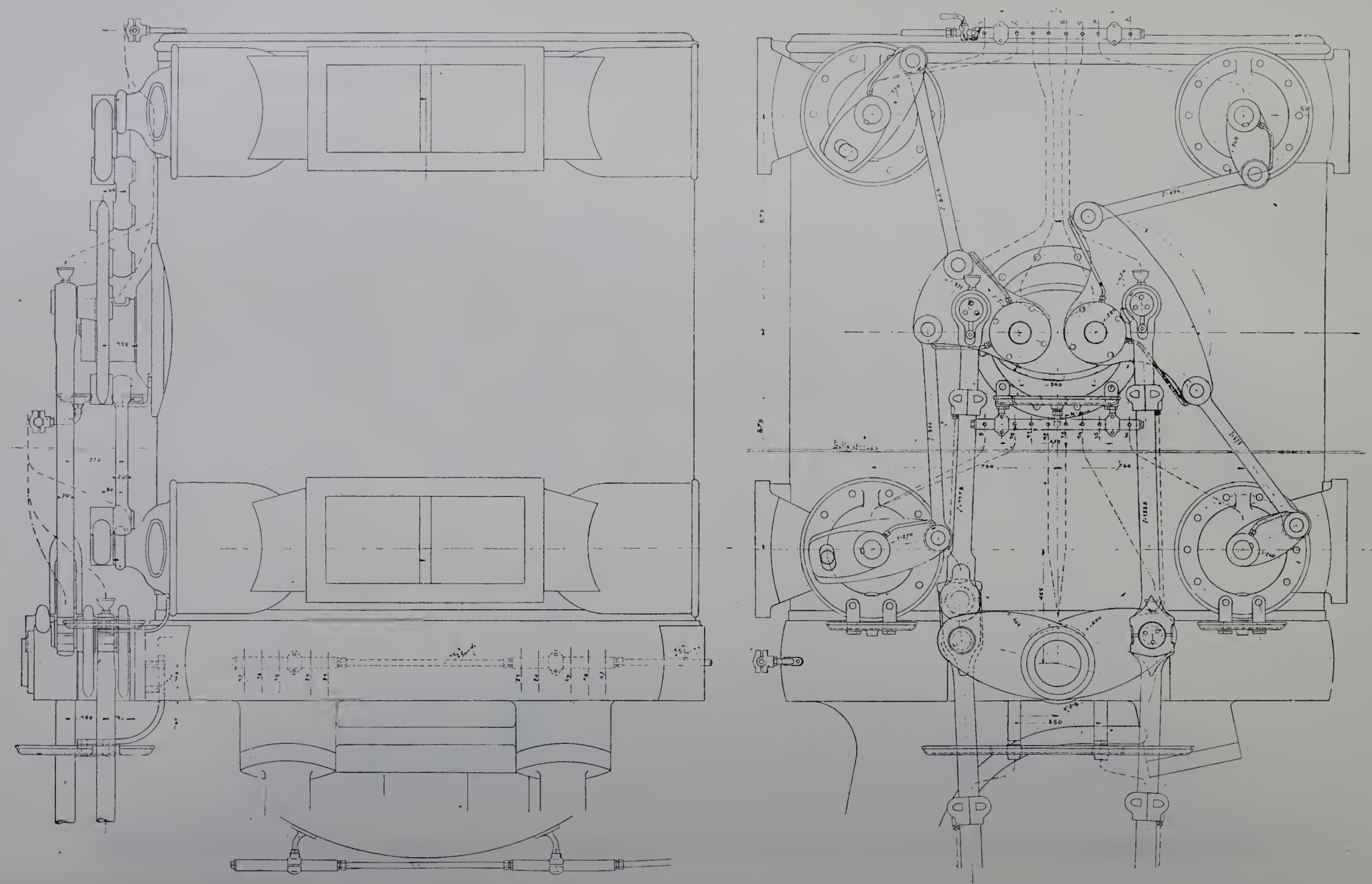


Fig. 499 et 500. — Détails du cylindre de basse pression. — Élévation latérale et élévation de face.

M. Borsig. — La grande machine verticale à triple expansion exposée par M. A. Borsig, de Tegel, près Berlin, est représentée par les figures 501 à 512[1]. Les deux photographies (fig. 502 et 509) permettent d'apprécier l'aspect imposant de ce moteur, dont les dispositions sont données par les coupes d'ensemble (fig. 501, 503, 504) et par les divers dessins de détail (fig. 505 à 508, 510 à 512).

La machine est construite pour développer normalement 2,500 chevaux à 90 tours par minute, avec de la vapeur à la pression effective de 13 kilogrammes par centi-

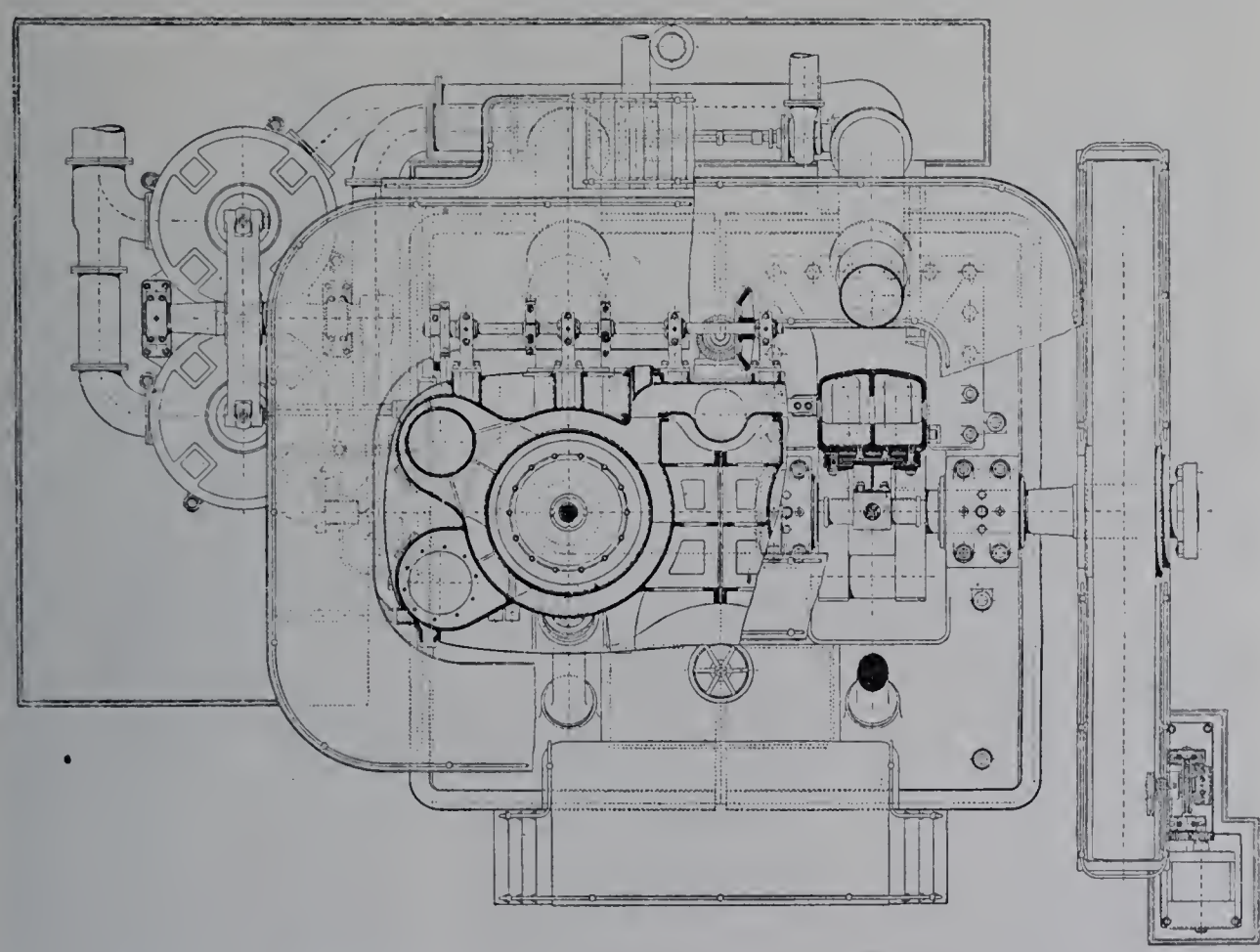


Fig. 501. — Machine à triple expansion de M. Borsig. — Plan et coupes horizontales.

mètre carré et une admission de 30 p. 100 au petit cylindre, correspondant à une expansion totale de 20,7. A l'Exposition, on la fait tourner, comme la précédente, à 83,3 tours par minute, à raison des conditions du service électrique; en outre, elle n'est alimentée que sous la pression effective de 9 kilogrammes; sa puissance se trouve ainsi réduite à 2,000 chevaux environ.

Elle actionne un alternateur à courants triphasés de MM. Siemens et Halske, de Berlin, ayant une puissance apparente de 2,000 à 2,500 kilovolts-ampères, placé par rapport au moteur comme l'indique la fig. 505.

Tandis que, dans la machine d'Augsbourg et Nuremberg, le cylindre de basse pression est unique et offre une capacité théorique de 2 m. c. 800, M. Borsig emploie pour la

[1] Plusieurs dessins de cette machine ont été exécutés d'après la *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, année 1900.

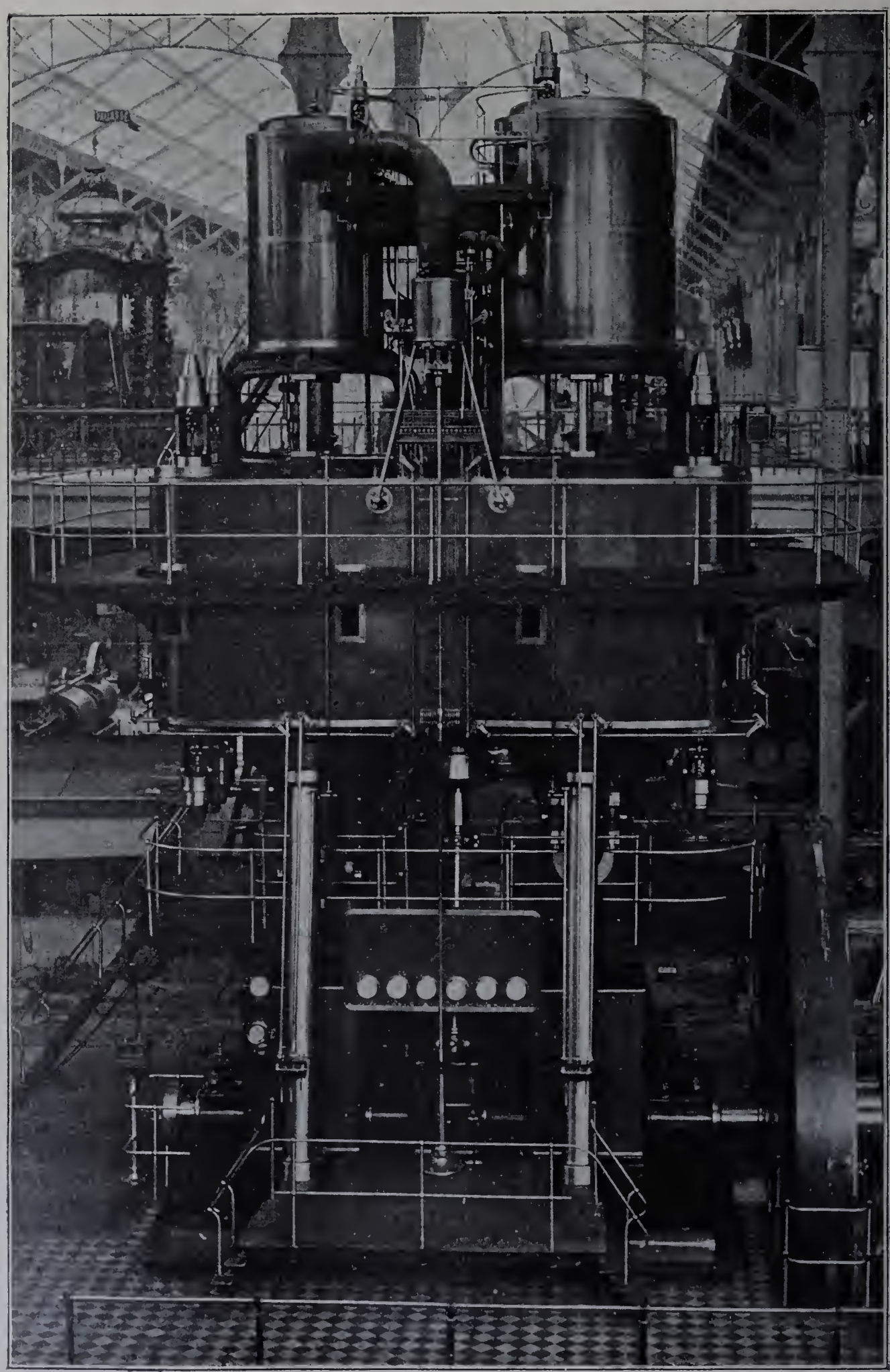


Fig. 502. — Machine à triple expansion de M. Borsig. — Vue de face.

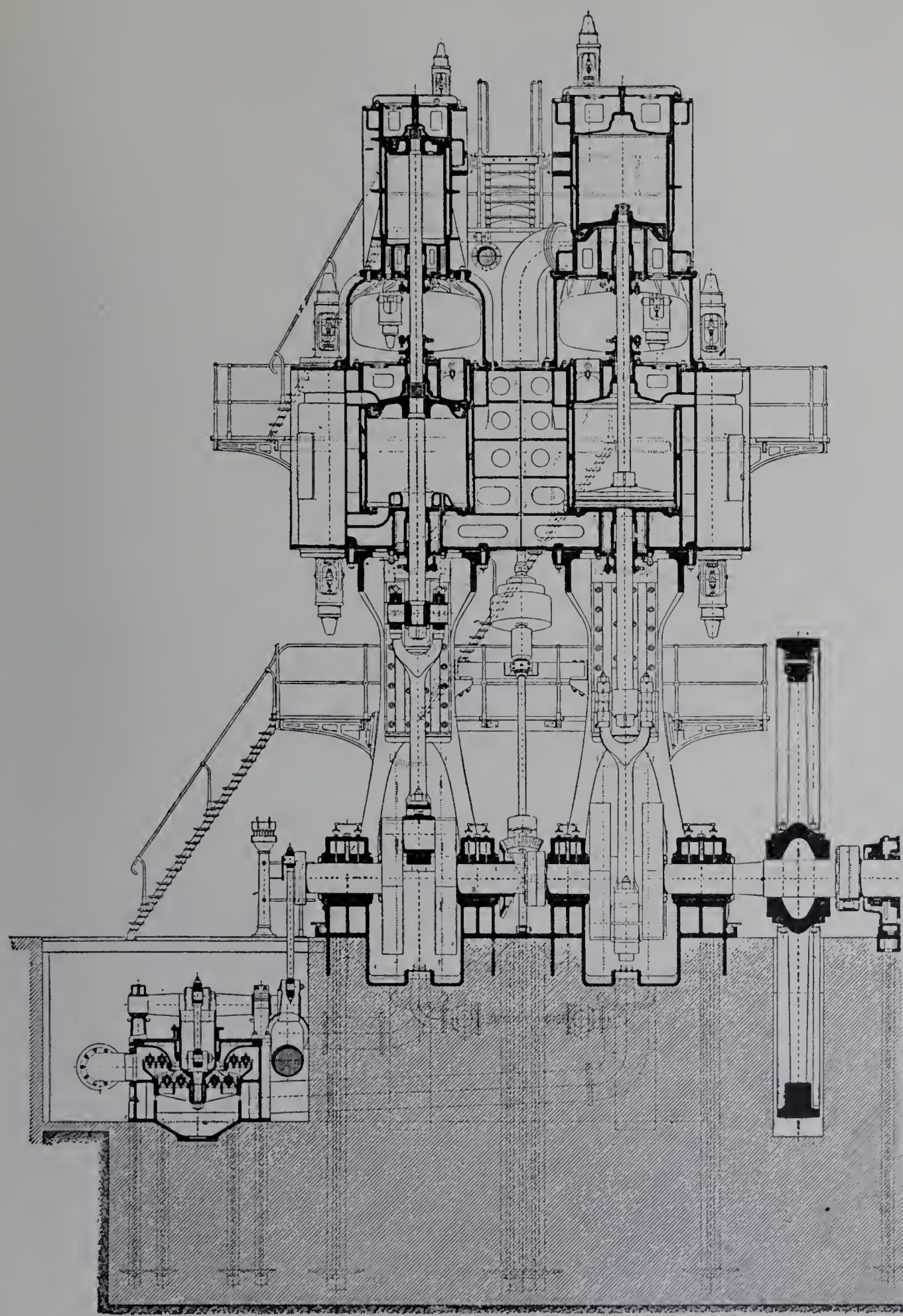


Fig. 503. — Coupe longitudinale.

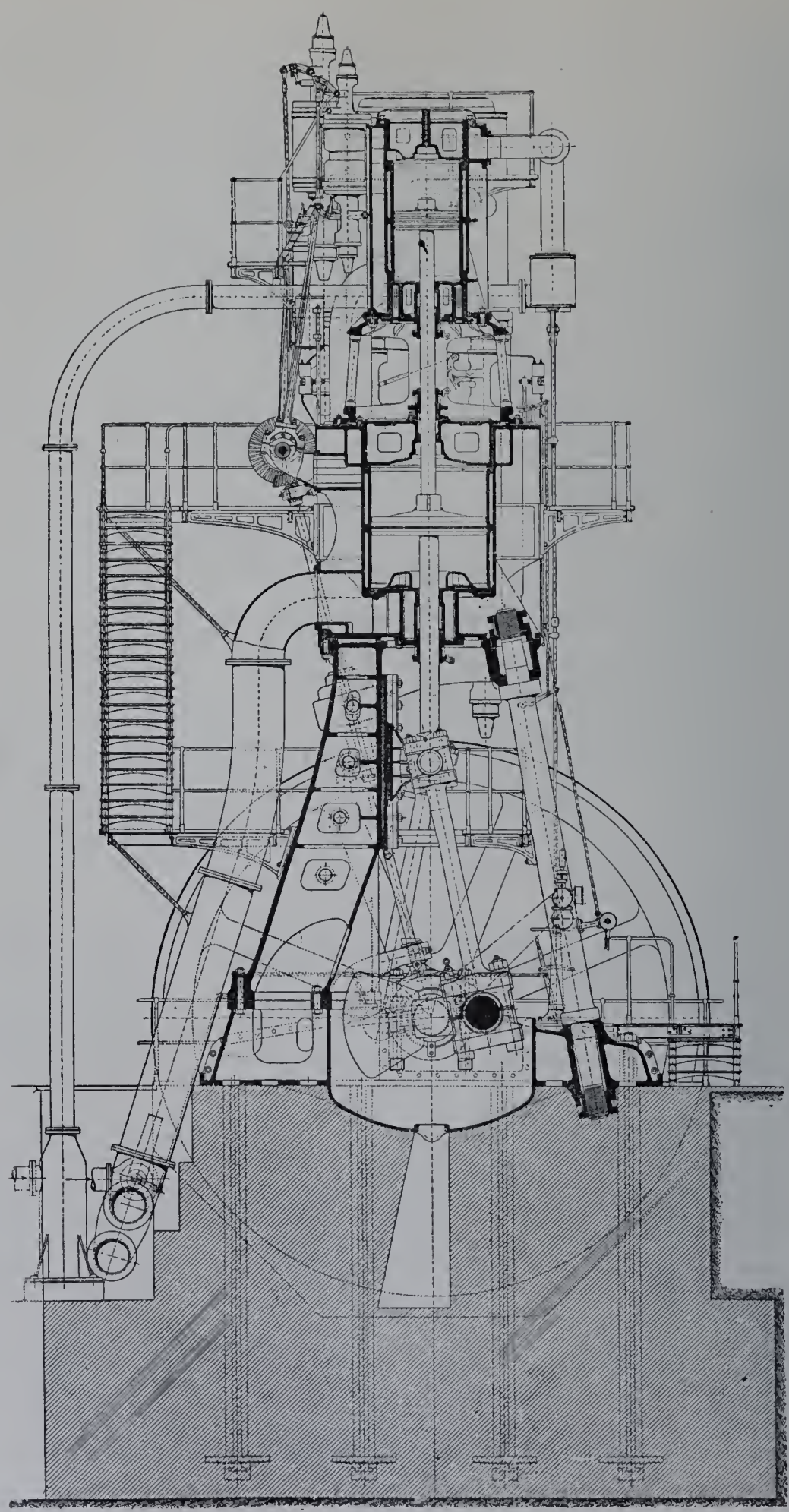


Fig. 504. — Coupe transversale

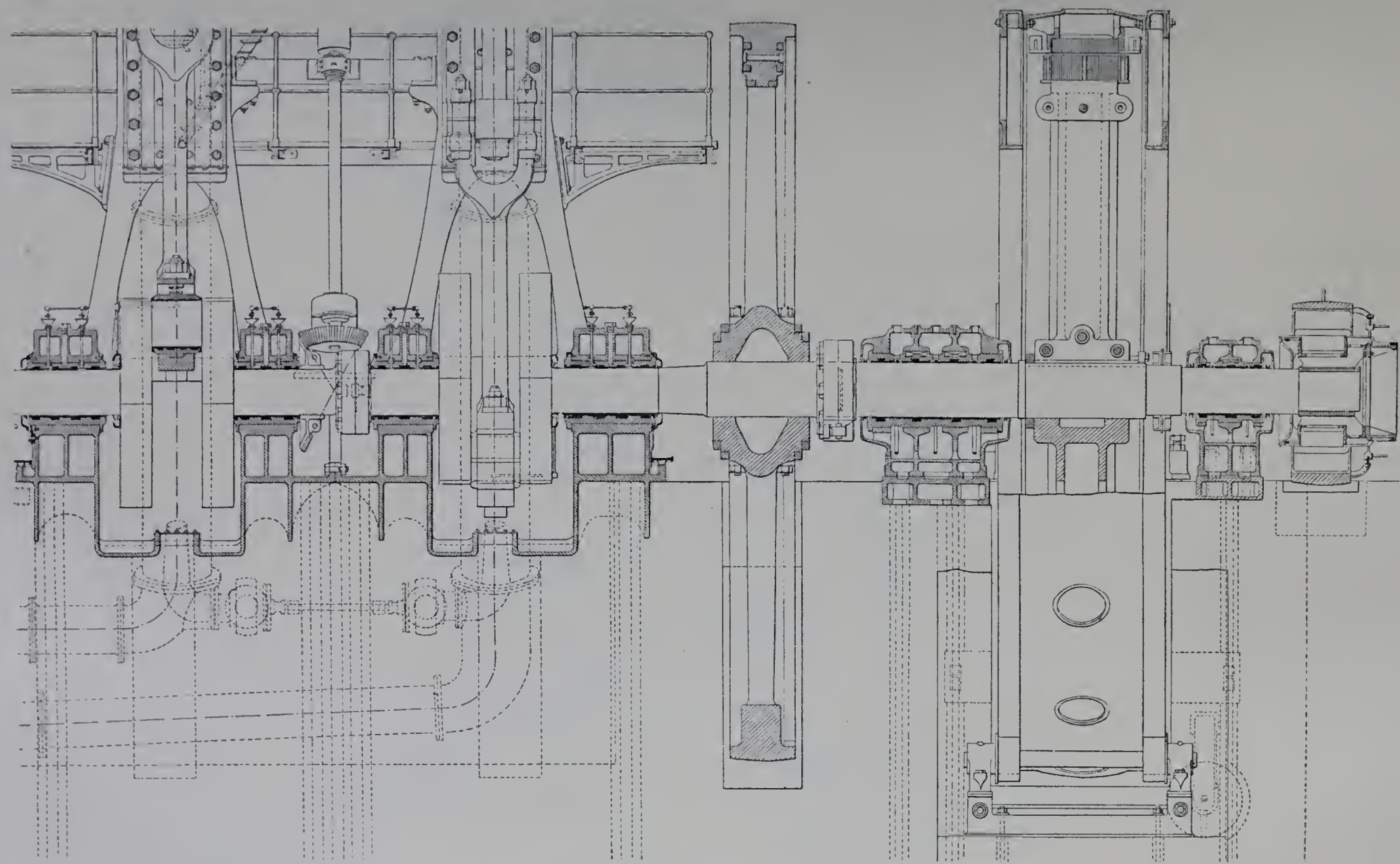


Fig. 505. — Détails de la ligne d'arbre et installation de l'alternateur.

IMPRIMERIE NATIONALE

basse pression deux cylindres associés en parallèle et dont la capacité théorique est, au total, 3 m. c. 370. Les dimensions essentielles de la machine sont les suivantes :

$$D_1 = 0^m 76 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.58$$

$$D_2 = 1\ 48 \qquad \frac{L}{D_2} = 0.81$$

$$D_3 = D'_3 = 1\ 34 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.4} = \frac{2D_3^2}{6.2}$$

$$L = 1\ 20$$

$$N = 83.3 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 33$$

Les cylindres sont groupés par deux en tandem au-dessus d'un arbre coudé à deux manivelles. Sur les deux bâtis juxtaposés sont les deux cylindres de basse pression, reliés

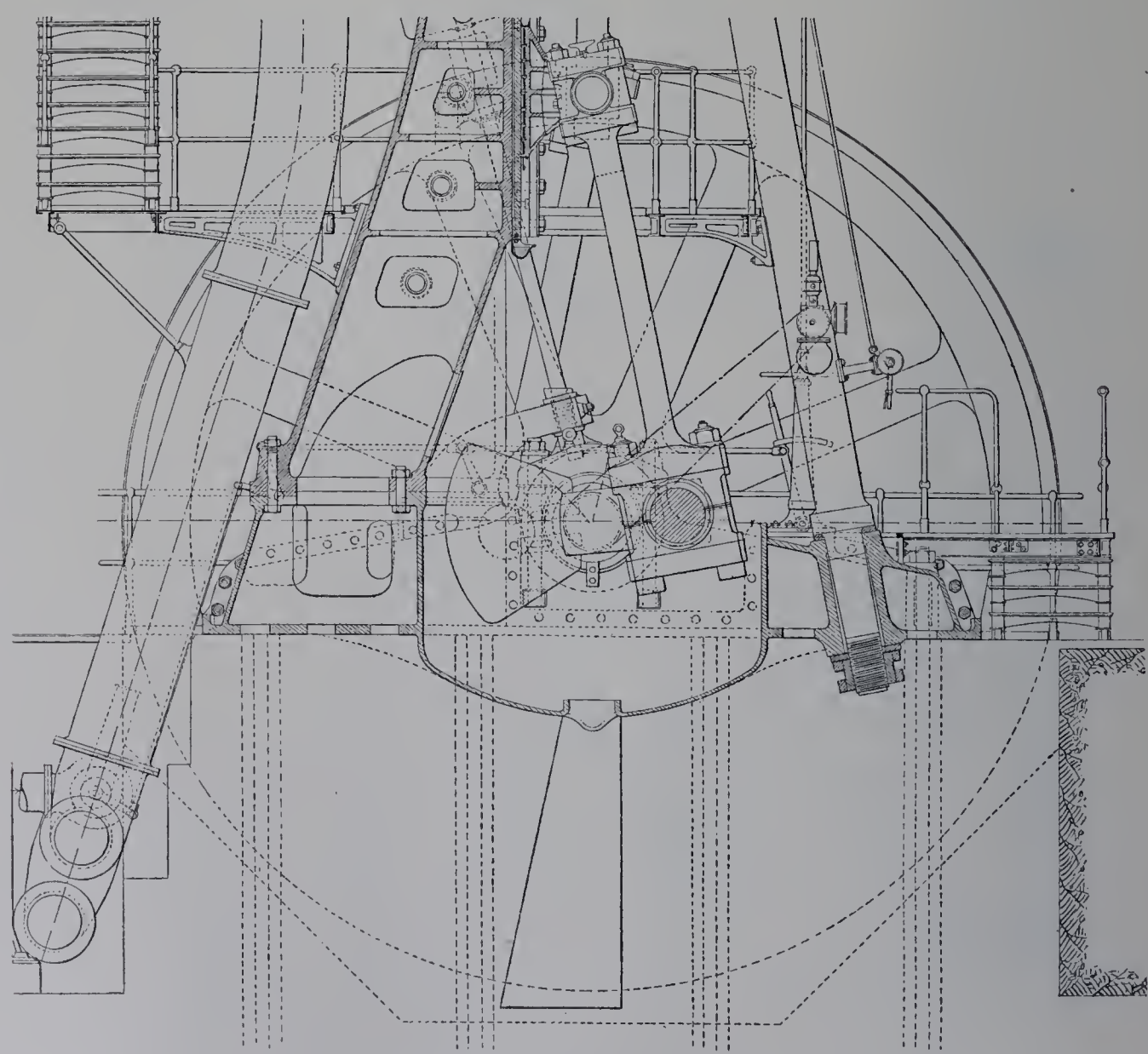


Fig. 506. — Manivelle et glissière (détails.)

latéralement l'un à l'autre par un assemblage à brides et boulons, soigneusement conditionné de manière à assurer, à chaud, un exact parallélisme des pièces. A l'étage supérieur se trouvent les cylindres n° 1 et n° 2, reliés respectivement aux deux

précédents par des lanternes de 1 m. 50 de hauteur en vue de l'accès des presse-étoupe. Ainsi constituée, cette machine détient, parmi toutes celles de l'Exposition, le record de la hauteur : elle ne s'élève pas à moins de 12 m. 50 au-dessus du sol.

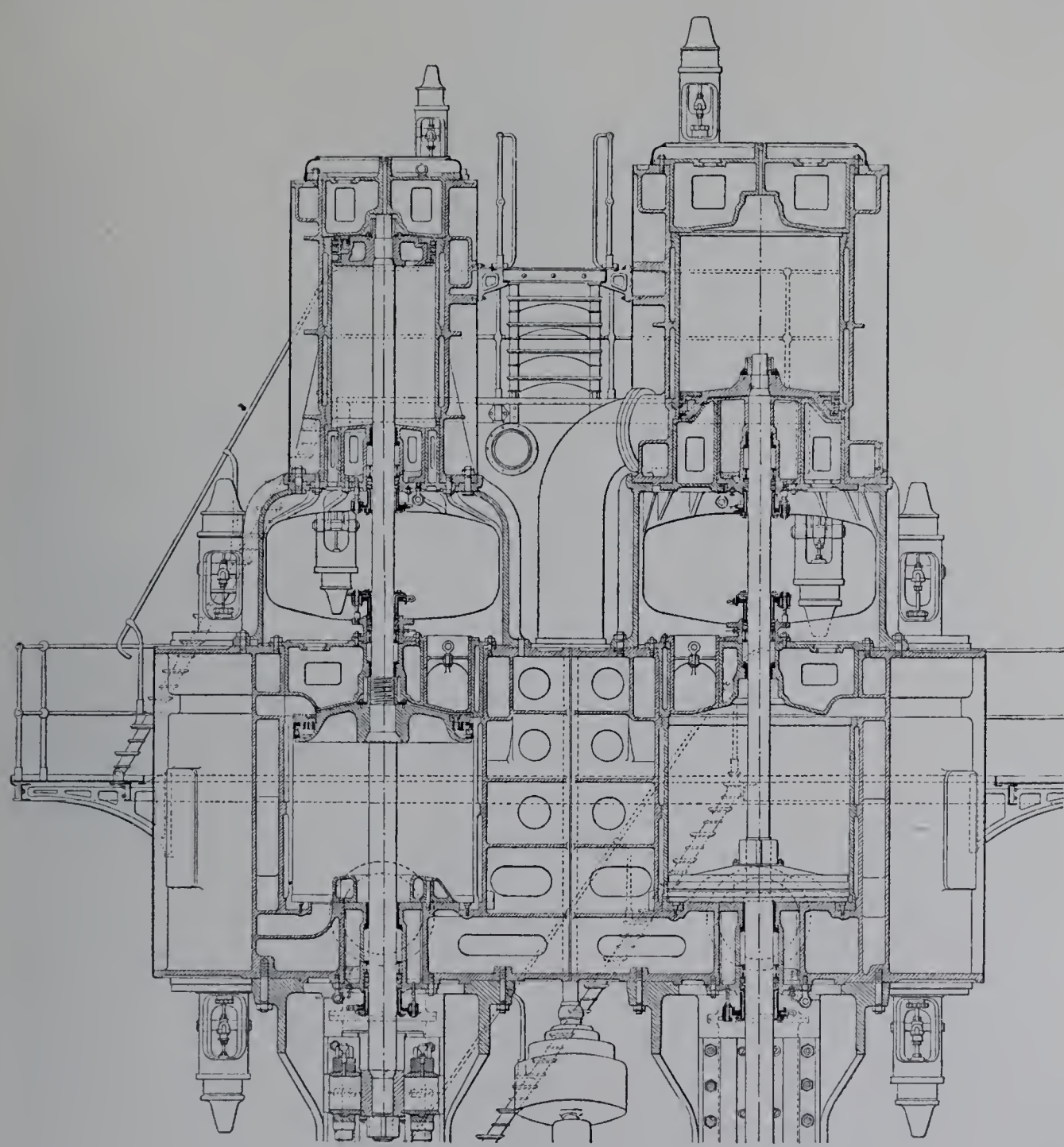


Fig. 507. — Détails de la coupe longitudinale des cylindres.

Les deux manivelles sont décalées de 180°, en vue de l'équilibre des masses à mouvement alternatif. Chaque manivelle est encadrée entre deux paliers qui font partie intégrante du bâti correspondant. L'arbre du moteur est en deux tronçons, assemblés l'un à l'autre par des plateaux venus de forge. Le tronçon de droite se prolonge au delà du palier de droite, par un renflement sur lequel est calé un volant de 6 m. 50 pesant 41,800 kilogrammes, puis il se termine par un nouveau plateau d'assemblage. C'est là que vient se placer, en prolongement, l'arbre de l'alternateur. Cet arbre est supporté par deux paliers, dont un de 1 m. 20 de longueur du côté du volant précédent. La partie

C. F. E.

tournante de l'alternateur est elle-même un volant de fonte portant 72 pôles autour de sa jante; son diamètre extérieur est 5 m. 98 et son poids 38 tonnes. Enfin une excitatrice de 44 kilowatts est installée en porte-à-faux à l'extrémité de la ligne d'arbre.

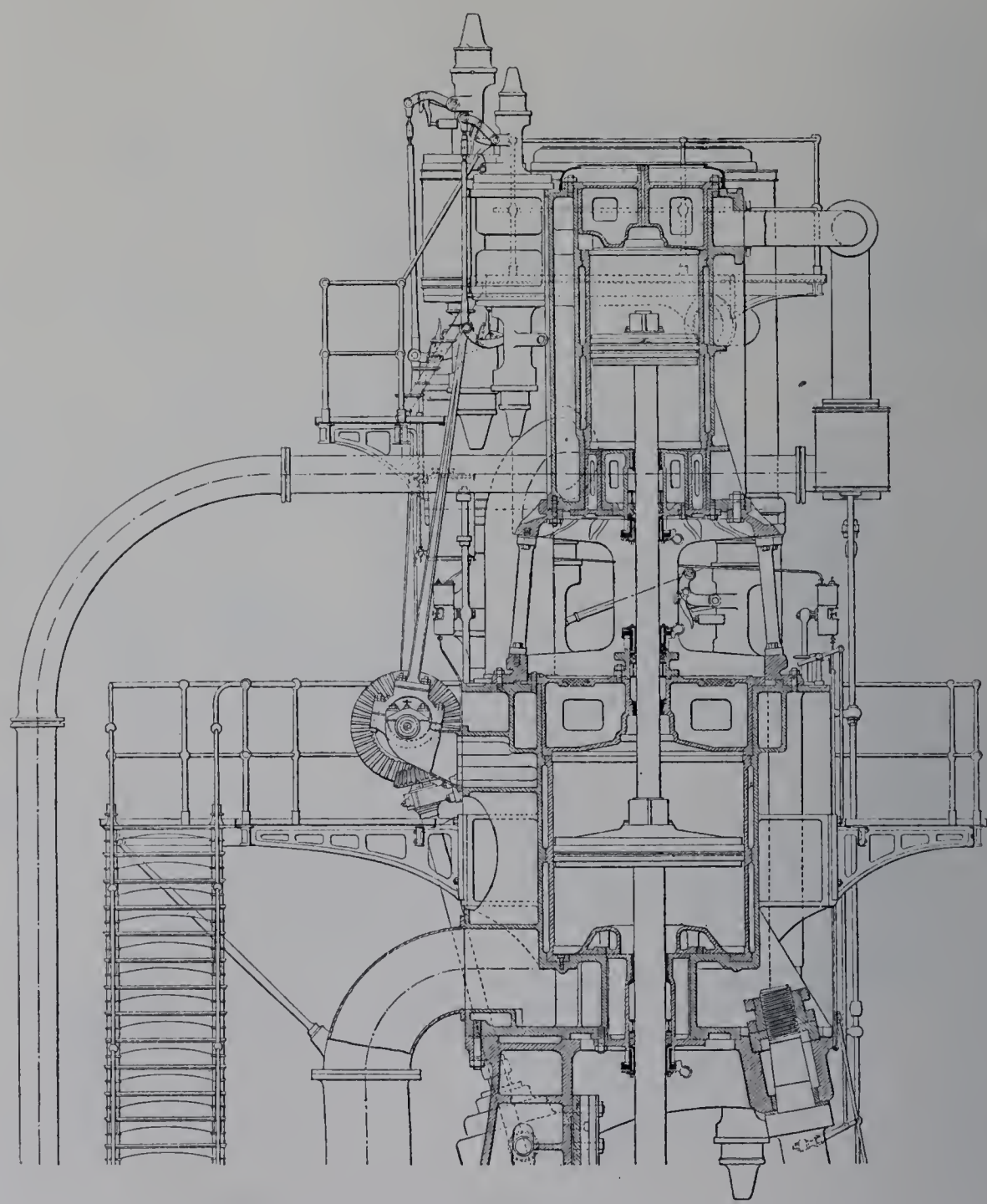


Fig. 508. — Détails de la coupe transversale par l'axe du cylindre de haute pression.

Les deux socles, dont les paliers de manivelle font partie, sont de forme extrêmement robuste : ils pèsent chacun 30 tonnes. Les bâtis, assemblés sur ces socles, sont constitués chacun par un montant tubulaire oblique en fonte, de 5 m. 50 de haut, fourchu à sa base, portant la glissière plate et terminé à son sommet par un entablement sur lequel le cylindre à haute pression vient s'assembler : à sa partie antérieure, l'entablement est relié au socle par deux fortes colonnes obliques en acier.

Bien qu'on ait prévu l'emploi éventuel de vapeur surchauffée à la température

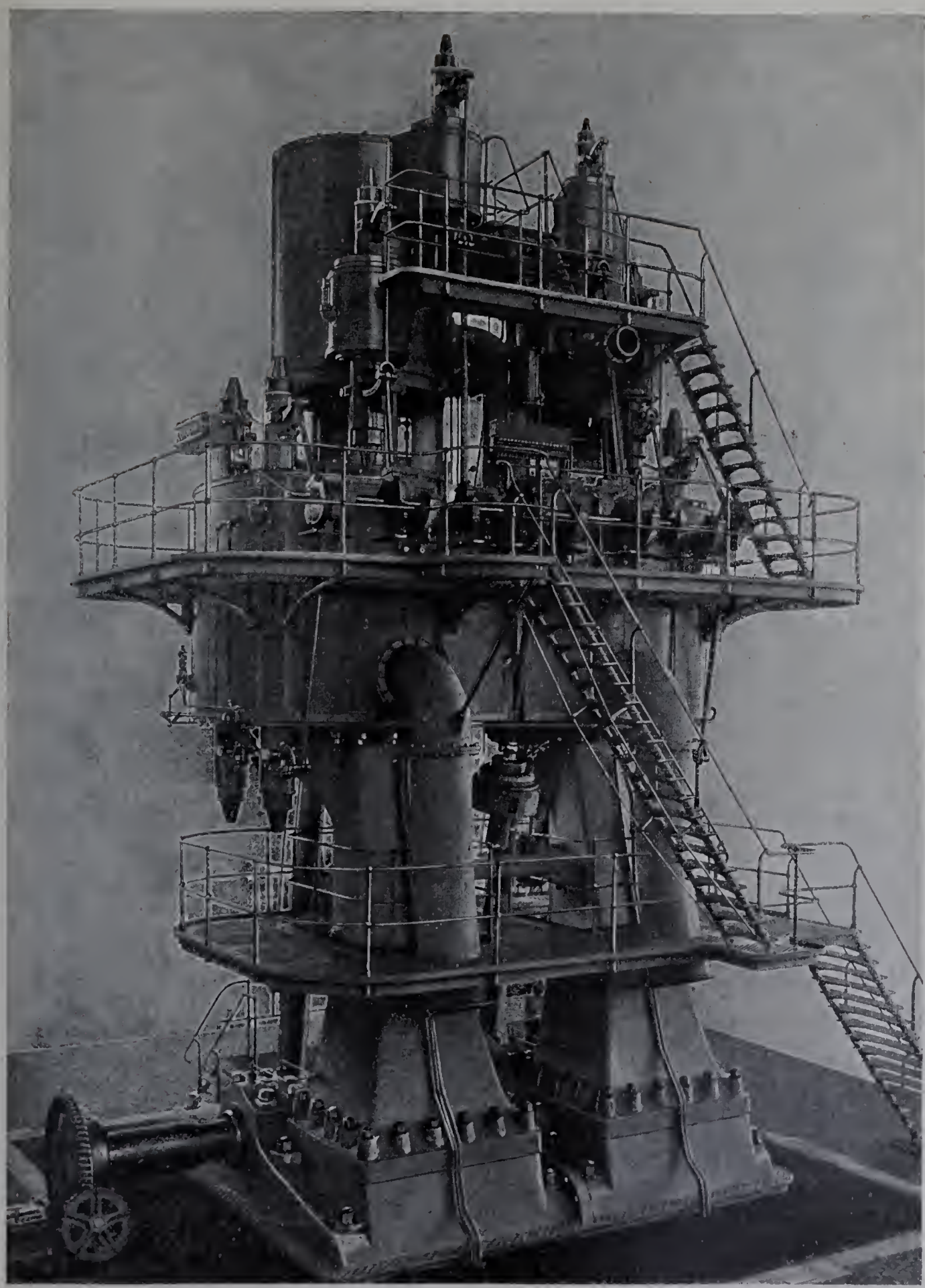


Fig. 509. — Vue postérieure de la machine à triple expansion de M. Borsig.

de 300 degrés, les cylindres sont munis tous les quatre d'enveloppes de vapeur. L'alimentation de chaque enveloppe est prélevée sur la vapeur qui se rend au cylindre correspon-

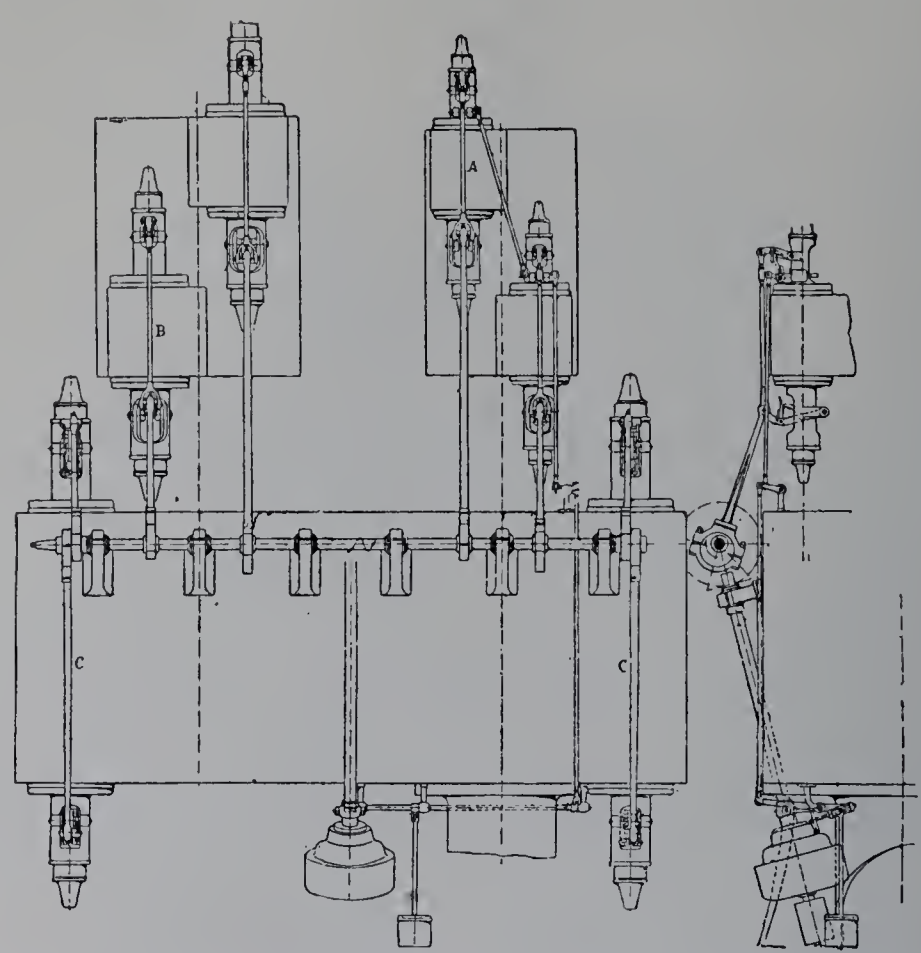


Fig. 510. — Disposition des soupapes de distribution. — A, haute pression. — B, moyenne pression. C, basse pression.

dant; il n'y a d'ailleurs pas de circulation dans l'enveloppe, mais seulement l'appel d'une condensation dont le produit est continuellement éliminé par un purgeur.

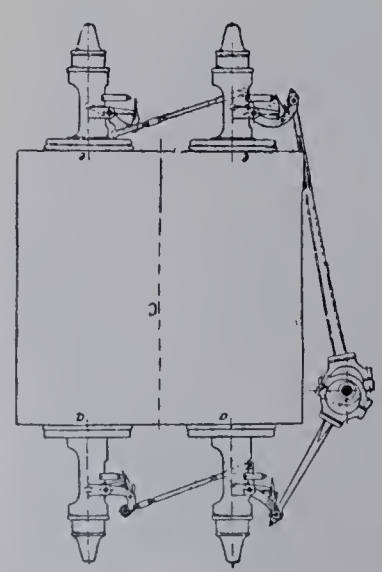


Fig. 511. — Distribution d'un cylindre de basse pression. — Élévation transversale.

La distribution est faite entièrement au moyen de soupapes à double siège, avec le ressort direct et le frein à huile du système Collmann. A chaque extrémité de chaque cylindre, la soupape d'admission et celle d'échappement sont contenues, l'une au-dessus de l'autre, dans une chapelle juxtaposée au cylindre. Un arbre horizontal de distribution est disposé derrière les cylindres de basse pression, à la hauteur du sommet de ceux-ci. Il tourne sur six consoles fixées à ces cylindres eux-mêmes; le mouvement, pris sur l'arbre moteur, lui est transmis par un arbre perpendiculaire, légèrement oblique sur la verticale. Sur l'arbre horizontal de distribution sont calés huit excentriques circulaires. Aux cylindres de haute et moyenne pression, chaque excentrique est affecté à l'une des extrémités du cylindre, dont il gouverne à la fois la soupape d'admission et celle d'échappement. Pour

la basse pression, le groupement des organes est différent : l'un des deux excentriques desservant chaque cylindre commande simultanément les deux soupapes d'admissio , l'autre les deux soupapes d'échappement.

Il y a déclic à tous les cylindres. Pour celui de haute pression, la position des taquets de déclenchement est placée sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge, porté par l'arbre de transmission pseudo-vertical qui actionne l'arbre de distribution. Aux autres cylindres, le déclenchement est produit par des taquets dont la position est simplement réglable à la main.

En vue de pouvoir faire correspondre une même vitesse à toutes les puissances, l'action du régulateur dépend de la tension d'un ressort qui agit sur le piston du frein à huile et dont on peut modifier le réglage au cours du fonctionnement.

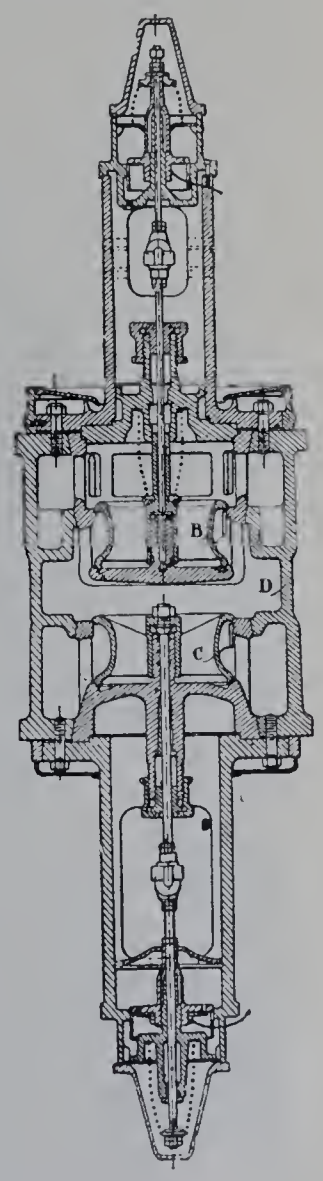


Fig. 512. — Coupe des soupapes de distribution correspondant à l'une des extrémités du cylindre de haute pression.

Ringhoffer. — La Section autrichienne est le jardin des idées neuves. M. F. Ringhoffer, de Smichow près Prague, expose une machine verticale de 1,600 chevaux à 95 tours par minute, pour vapeur surchauffée à 340 degrés, dont la construction rompt hardiment avec les anciennes traditions. La machine (fig. 513 à 519) est à triple expansion et à quatre cylindres : mais ce n'est pas le cylindre de basse pression, c'est celui de haute pression qui est dédoublé. Dans les moteurs à vapeur surchauffée que nous avons jusqu'à présent passés en revue, on supprimait l'enveloppe de vapeur comme inutile au cylindre n° 1, mais on la conservait aux cylindres suivants pour en réchauffer les parois. M. Ringhoffer ne donne d'enveloppe ni au cylindre de moyenne, ni à celui de basse pression; par contre, il en met une à ceux de haute pression; mais ce n'est pas pour en réchauffer les parois, c'est pour les rafraîchir.

Le motif de ces diverses dispositions réside dans la considération du supplément de chaleur que la vapeur à la pression effective de 11 kilogrammes par centimètre carré et à la température de 340 degrés, c'est-à-dire surchauffée de 150 degrés, apporte avec elle, par rapport à la vapeur saturée de même pression. Non seulement M. Ringhoffer trouve inutile, avec de la vapeur ainsi approvisionnée de calories, de réchauffer les parois du cylindre n° 1, mais il considère comme sans inconvénient d'accroître pour ce cylindre l'action de paroi et c'est pourquoi il ne craint pas de le dédoubler en deux; l'action de paroi lui paraît même devoir être particulièrement active dans le sens du rafraîchissement, afin d'éviter le grippement des pistons, et c'est pourquoi il donne à ses deux cylindres n° 1 des enveloppes où passe la vapeur d'échappement de ces cylindres. Il trouve au dédoublement du cylindre de haute pression l'avantage de n'avoir pas à donner aux pistons ou aux

soupapes, en contact avec la température la plus élevée, des dimensions plus grandes que celles déjà sanctionnées par l'expérience pour les machines à vapeur surchauffée. Il procure en même temps au moteur, jusqu'à un certain point, les qualités d'un

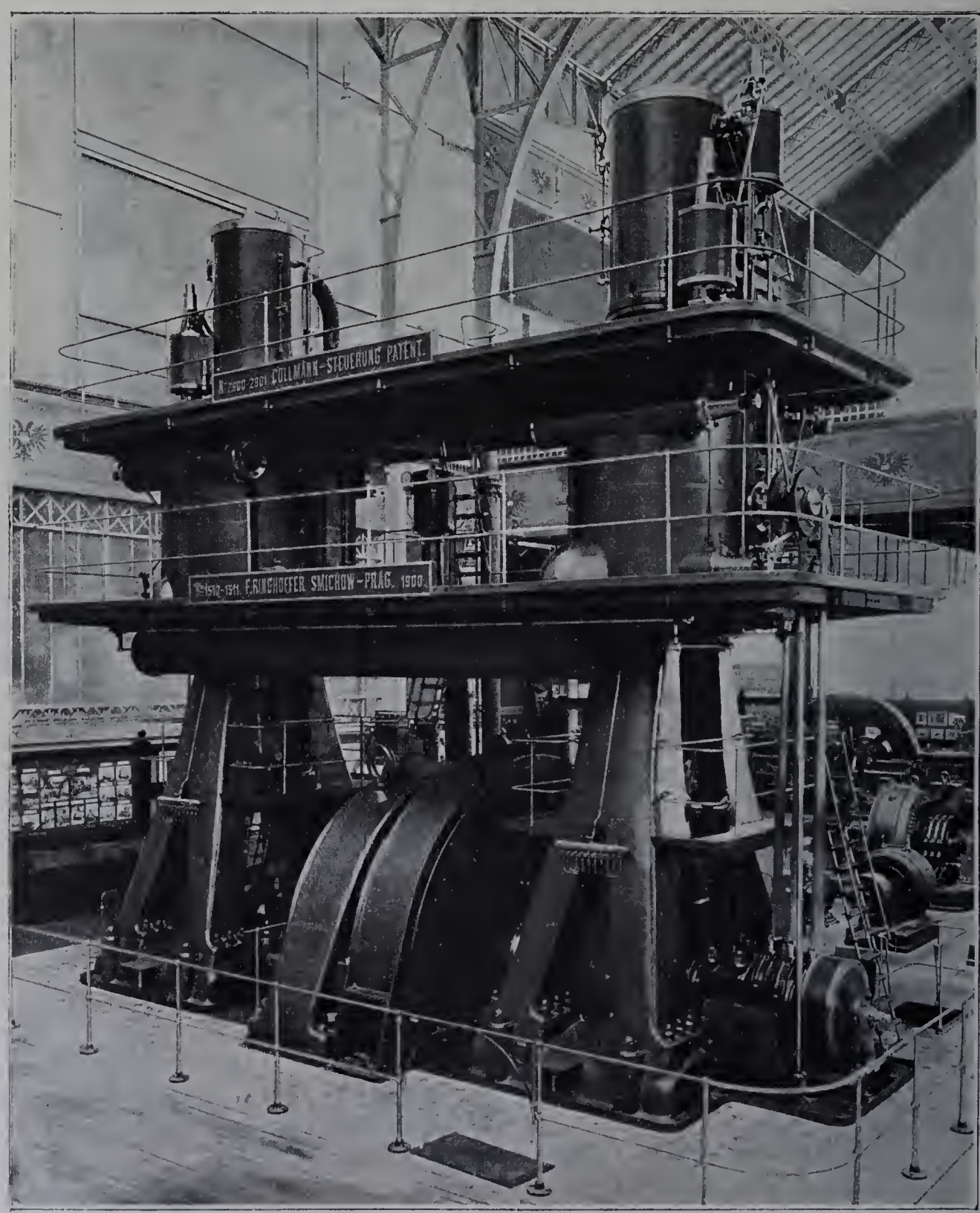


Fig. 513. — Machine à triple expansion de M. Ringhoffer. — Vue d'ensemble.

système de deux machines jumelles attelées respectivement sur deux manivelles en quadrature. C'est ainsi qu'en répartissant par moitié sur les deux côtés de la machine le travail de la haute pression, il réduit l'inégalité de charge des deux tiges de pistons dans le fonctionnement à puissance réduite; cette égalité approximative, à toute

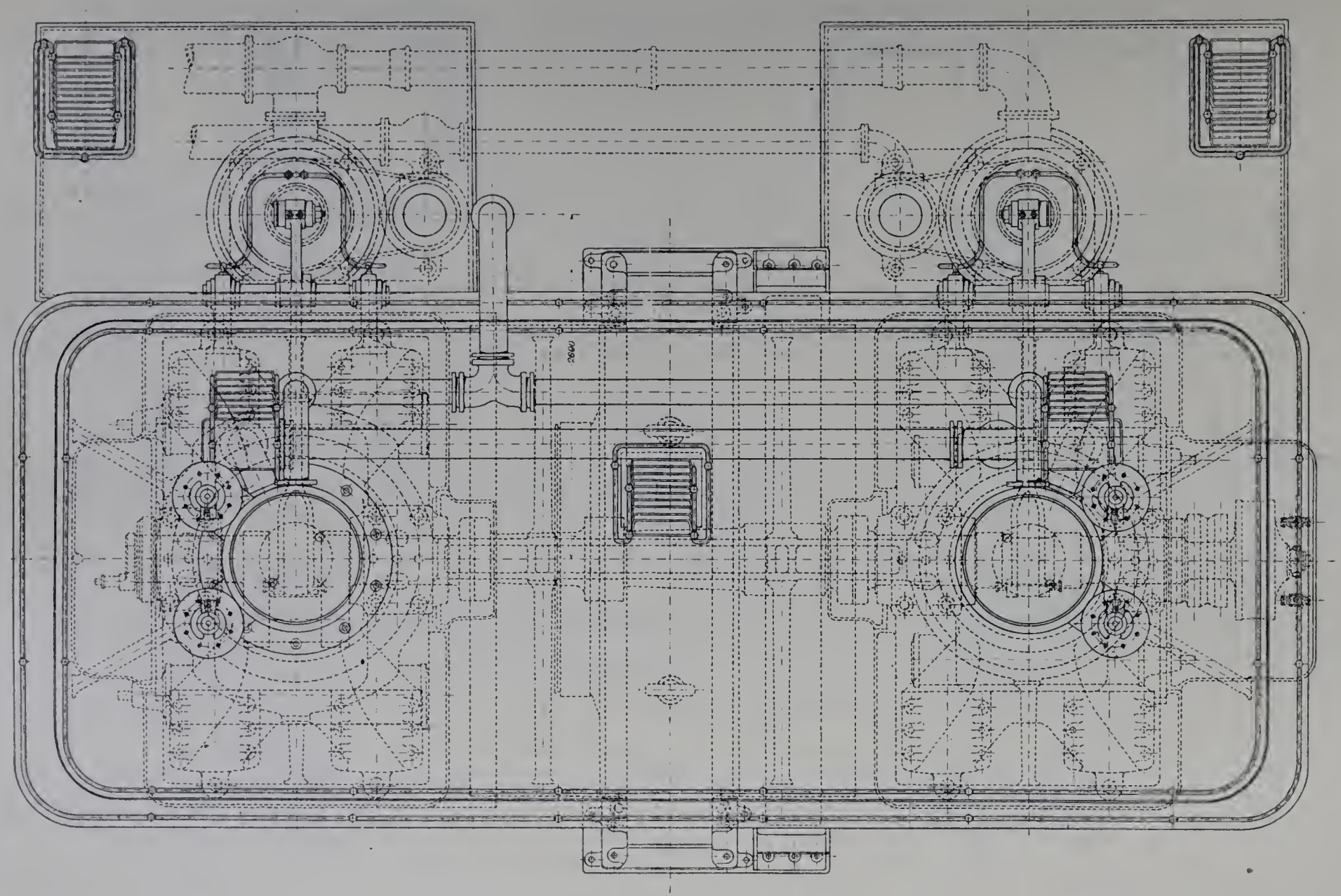


Fig. 514. — Plan.

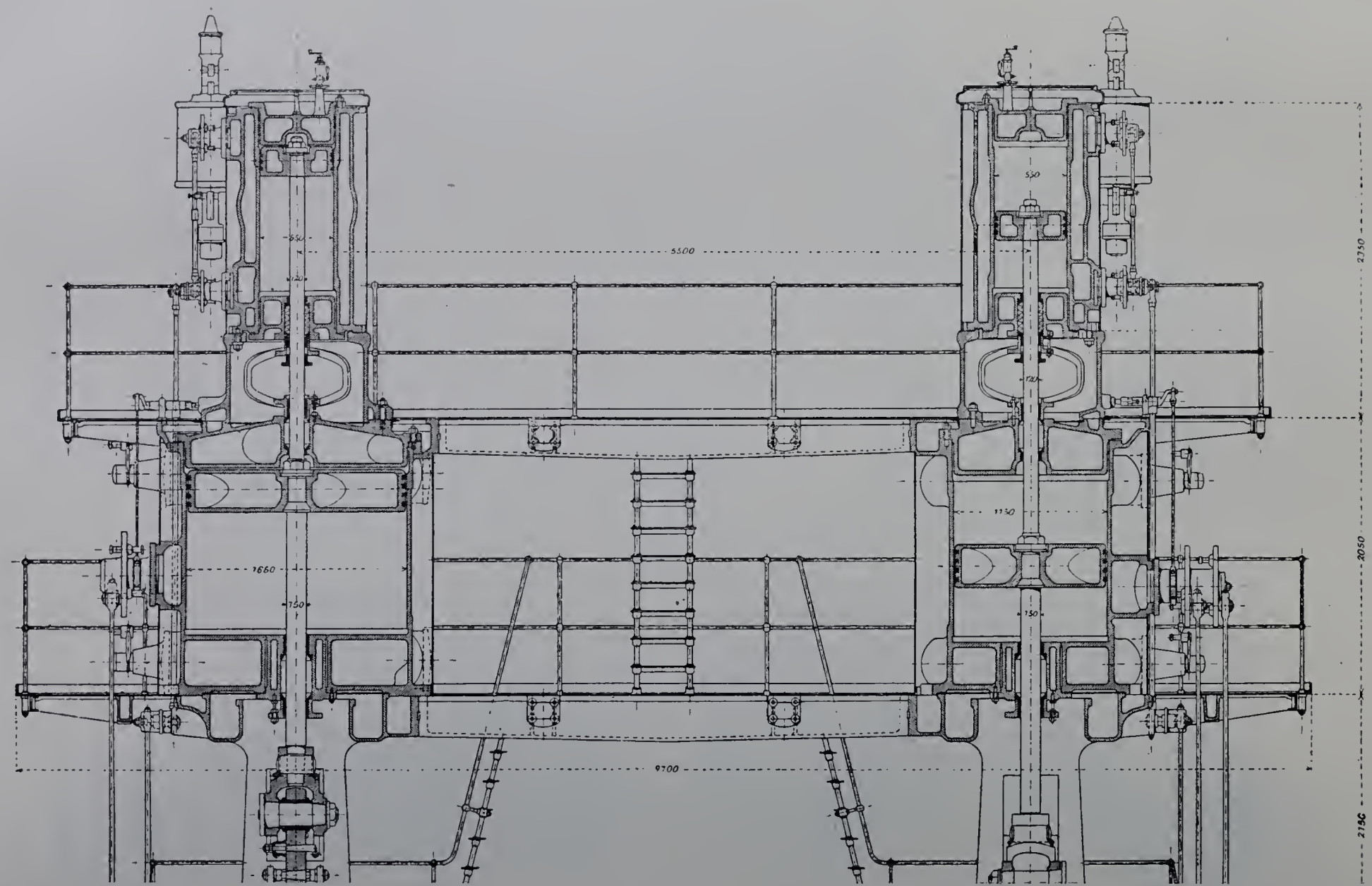


Fig. 515. — Coupe de la partie haute, par les axes des cylindres.

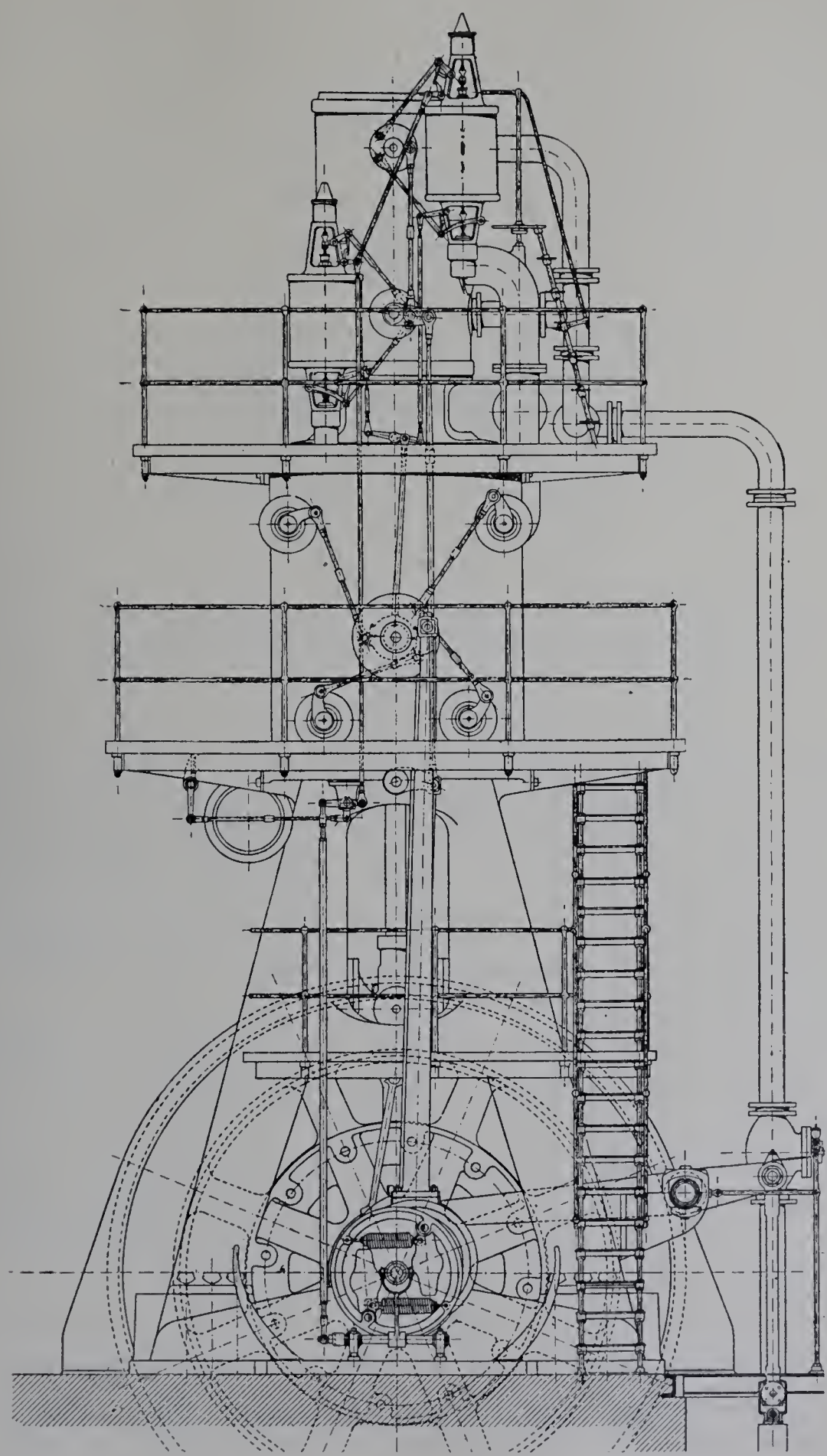


Fig. 516. — Élévation latérale, côté du cylindre de moyenne pression.
(On a supposé enlevé le couvercle de la boîte du régulateur.)

charge, entre les travaux transmis alternativement par les deux manivelles, permet un volant de masse modérée. En outre, comme dans la machine double, le degré d'admission aux petits cylindres intervient quatre fois par tour. Enfin la légèreté de chacun des deux cylindres à haute pression favorise la stabilité de l'ensemble.

Quoi qu'il en soit, avec un seul cylindre de basse pression pour deux de haute, on ne doit pas s'attendre à trouver un rapport fort élevé entre la capacité de celui-là et la somme des capacités de ceux-ci. Ce rapport est 4,5, ainsi que le montre le tableau suivant :

$$D_1 = D'_1 = 0^m 55 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.6$$

$$D_2 = 1\ 15 \qquad \frac{L}{D_2} = 0.8$$

$$D_3 = 1\ 65 \qquad \frac{2D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.2} = \frac{D_3^2}{4.5}$$

$$L = 0\ 90$$

$$N = 95 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 85$$

Avec la pression effective de 11 kilogrammes par centimètre carré, la puissance indiquée de 1,600 chevaux correspond à une admission de 30 p. 100 aux petits cylindres; l'expansion totale est alors de 15. Le régime peut être porté à 2,000 chevaux.

Les quatre cylindres se dressent sur deux lignes, à 5 m. 50 de distance d'axe en axe, aux extrémités d'un arbre portant sur sa partie centrale le volant et la pièce tournante à laquelle la résistance est appliquée. D'un côté est le moyen cylindre, de l'autre le grand, et chacun d'eux est surmonté de l'un des cylindres de haute pression. Mais M. Ringhoffer ne cherche pas à profiter de ce plan général pour simplifier la construction de l'arbre : il préfère atteler chacune des deux bielles sur un vilebrequin solidement assujetti dans deux paliers encadrant la manivelle.

La machine actionne une dynamo à courant continu, construite par l'établissement de Vienne de MM. Siemens et Halske. La puissance de cet appareil est de 1,000 kilowatts (1,800 ampères sous 550 volts ou 2,000 sous 500). Un volant de 24 tonnes, mesurant 4 mètres de diamètre et 42 centimètres de largeur à la jante, est claveté sur la partie centrale de l'arbre. La dynamo lui est immédiatement juxtaposée : l'induit, de 2 m. 50 de diamètre, est boulonné d'un côté sur les bras du volant et de l'autre sur un support circulaire.

L'arbre est en trois tronçons. Les deux tronçons extrêmes, symétriquement disposés au-dessous des deux lignes de cylindres, comprennent chacun une partie coudée, encadrée entre deux robustes paliers. Le tronçon médian, portant le volant et l'induit de la dynamo, est suspendu aux deux autres par des manchons d'assemblage venus de forge. On a proportionné au poids à soutenir les paliers voisins de ces manchons. Les tourillons de l'arbre mesurent 375 millimètres de diamètre et 75 centimètres de longueur. Les coussinets sont en acier moulé, garnis de métal blanc.

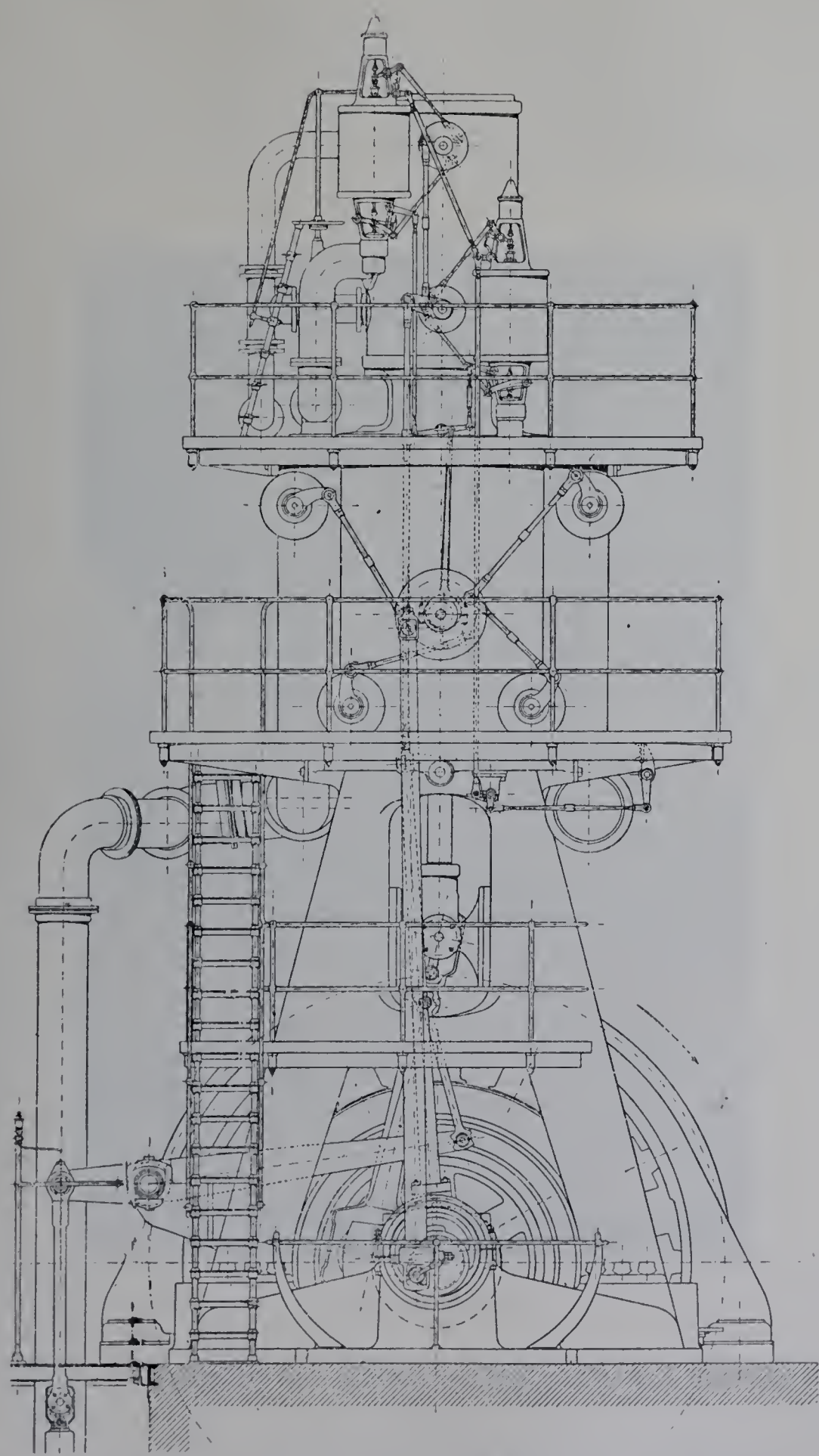


Fig. 517. — Élévation latérale, côté du cylindre de basse pression.

De chaque côté, la machine est assise sur un socle en fonte, dont font partie intégrante les deux paliers correspondants. Le socle comprend en outre la cuvette demi-circulaire disposée sous la manivelle; la base des paliers descend aussi profondément que cette cuvette, afin d'assurer au socle une absolue rigidité. Les bâtis sont à quatre pieds et forment crinoline à leur partie supérieure : ce type a été choisi à cause de sa très grande solidité.

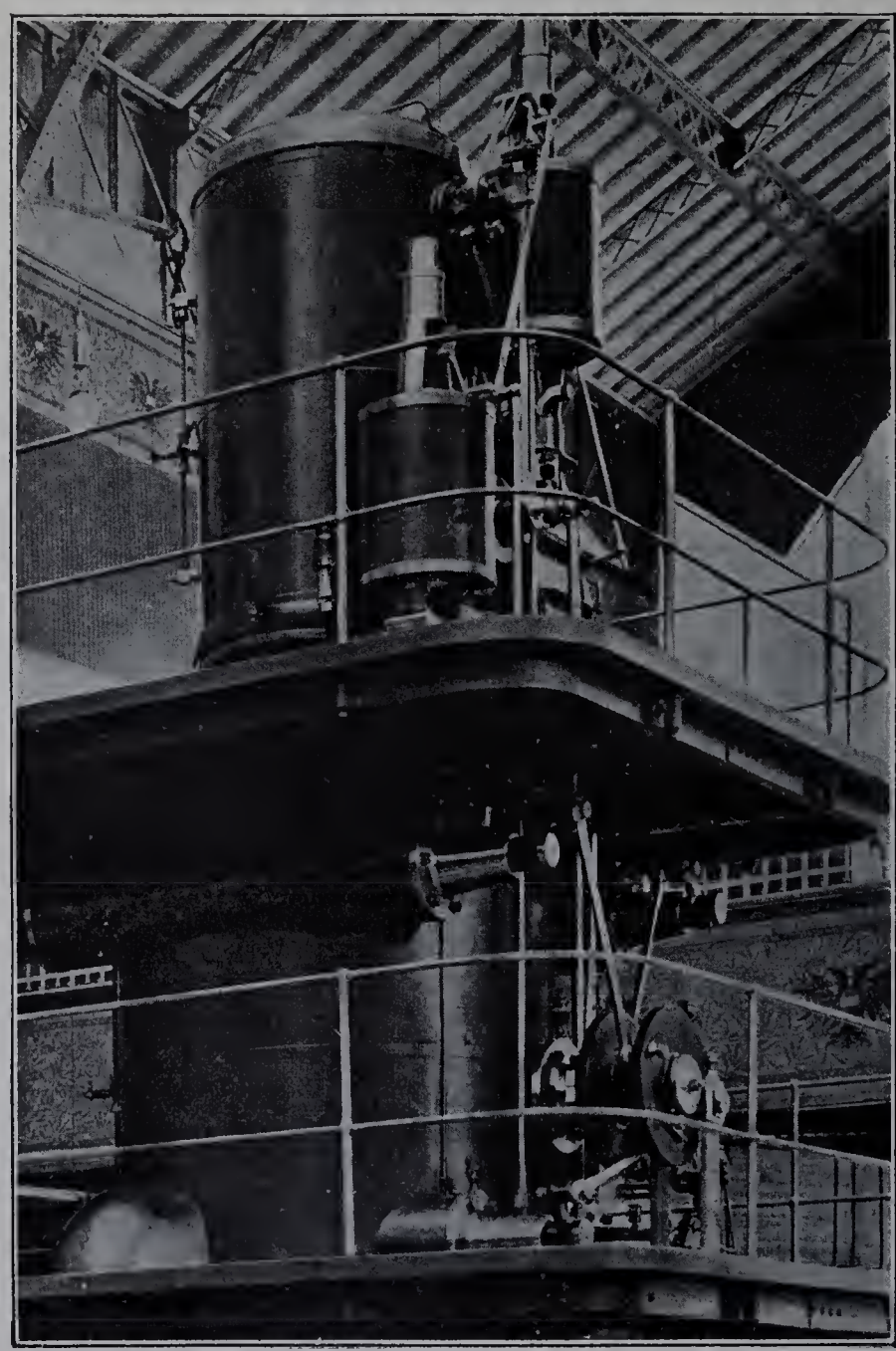


Fig. 518. — Détails de l'un des cylindres de haute pression et du cylindre de moyenne pression.

Sur les bâtis sont respectivement portés, à 5 m. 50 au-dessus du sol, les cylindres de moyenne et de basse pression. Au-dessus de chacun d'eux, un cylindre de haute pression est monté sur une lanterne qui laisse les presse-étoupe accessibles. La hauteur totale de la machine est de 10 mètres environ. Les deux lignes de cylindres sont entretoisées par deux traverses de fonte reliant, l'une les sommets des deux bâtis, l'autre les extrémités supérieures du moyen et du grand cylindre.

Les pistons sont creux, à faces planes, et munis de segments de fonte. Les petits pistons ont trois segments, les autres quatre.

La distribution est naturellement faite au moyen de soupapes dans les cylindres n° 1; pour les autres, elle est à tiroirs Corliss.

Les soupapes sont à double siège et toutes à déclic, du système Collmann : le détail de leurs dispositions a déjà été donné par les figures 242 et 243. Elles sont, pour chaque petit cylindre, groupées dans deux chapelles et actionnées au moyen d'un seul excentrique calé sur l'arbre moteur. Cet excentrique, par un relais de bielles, fait osciller deux plateaux tourillonnés sur l'enveloppe du cylindre. De chaque plateau partent deux bielles obliques actionnant les deux leviers de soupapes de la chapelle correspondante. Le déclenchement est produit par une butée dont, aux soupapes d'admission, la position est fixe tant que le degré d'introduction n'a pas à bouger, mais dépend du régulateur : l'admission est susceptible de varier ainsi de zéro à 70 p. 100. Aux soupapes d'échappement, l'instant du déclenchement n'a pas besoin de varier d'une manière automatique; par contre, pour qu'on puisse réduire à volonté la compression, il doit pouvoir être très voisin de la fin de la course du piston; on s'est donc attaché à faire intervenir le déclic pendant le mouvement de fermeture de la soupape. A cet effet, le butoir de déclenchement a reçu un mouvement auxiliaire, par suite duquel il ne vient se mettre en position de prise que pendant la phase voulue; ce mouvement auxiliaire est pris sur le mécanisme de distribution du cylindre placé au-dessous (grand cylindre d'un côté, moyen cylindre de l'autre.)

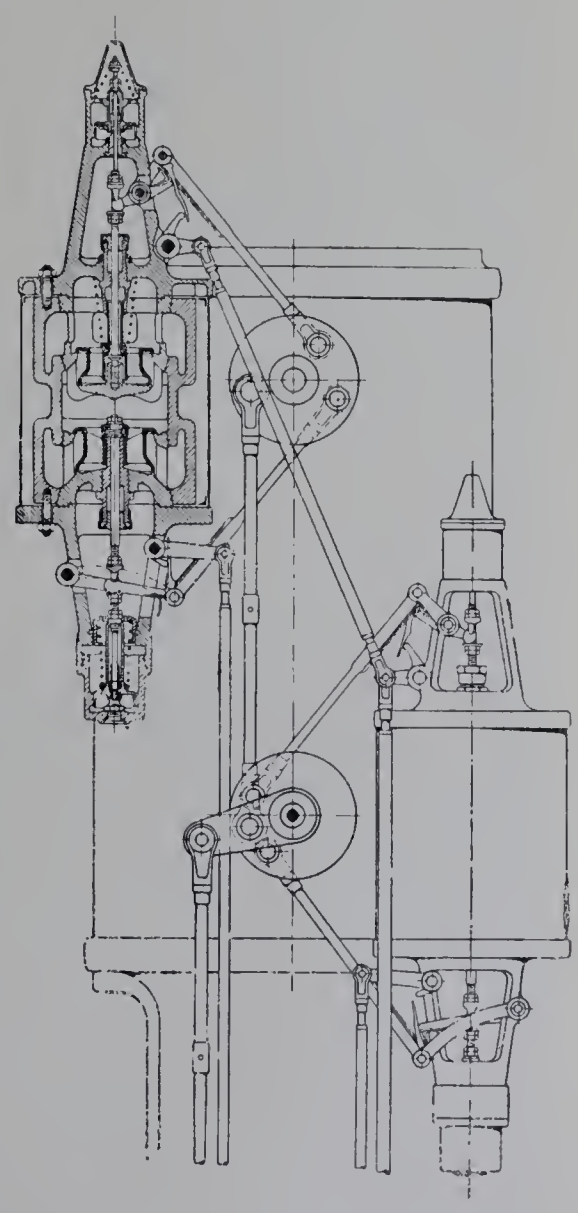


Fig. 519. — Distribution du cylindre de haute pression.

Les tiroirs Corliss sont conduits par des mécanismes à liaisons complètes. Du côté de la moyenne pression, deux excentriques, calés sur l'arbre moteur, font osciller deux plateaux de distribution tourillonnés l'un devant l'autre sur un même axe, au centre du rectangle des quatre distributeurs.

L'un de ces plateaux commande les tiroirs d'admission, l'autre ceux d'échappement; on peut ainsi régler la détente et la compression indépendamment l'une de l'autre. Du côté de la basse pression, un bouton de manivelle placé sur l'extrémité de l'arbre commande une bielle unique et un seul plateau oscillant, sur lequel sont pris les mouvements des quatre organes de distribution.

C'est sur l'autre extrémité de l'arbre, du côté de la moyenne pression, que se trouve installé, à la suite des trois excentriques mentionnés ci-dessus (un pour la distribution du petit cylindre et deux pour celle du moyen), le régulateur par lequel est gouvernée l'admission aux deux petits cylindres. Cet appareil coiffe directement l'arbre sous la forme d'une grande boîte tournante, de 90 centimètres de diamètre et 30 centimètres d'épaisseur; à l'intérieur sont articulées deux fortes masses, symétriques l'une de l'autre, sur lesquelles la force centrifuge agit en opposition avec deux ressorts à boudin. L'écartement des masses se traduit par le déplacement longitudinal d'une tige axiale hors du couvercle de la boîte : sur cette tige est prise, par un levier, la commande d'une série de liaisons qui aboutissent aux butoirs de déclenchement des soupapes d'admission des deux petits cylindres : il y a là de longues tiges de transmission, exigeant un régulateur puissant.

Deux passerelles générales sont disposées pour le service, à hauteur des deux entretoises qui relient les deux groupes de cylindres. Les glissières sont accessibles au moyen de balcons à mi-hauteur des bâtis.

III

MACHINES À GRANDE VITESSE.

Généralités. — Les grandes vitesses angulaires conviennent à beaucoup d'applications. A puissance égale, elles réduisent les dimensions; elles fournissent des solutions que les moteurs lents ne sauraient donner, toutes les fois que la question de l'encombrement ou celle du poids joue un rôle essentiel. Par contre, plus la rotation est rapide, plus il faut de soins et d'ingéniosité pour assurer aux machines un fonctionnement doux, sans usure excessive, sans chocs, sans trépidations du bâti. L'une des dispositions caractéristiques de certains moteurs à très grande vitesse est l'abandon du double effet, afin d'éviter les renversements de la poussée de la vapeur sur les pistons.

On ne fait guère emploi, comme organes de distribution, que d'obturateurs glissants, animés d'une oscillation harmonique ou d'une rotation continue, seuls mouvements compatibles avec la brièveté de la période. Pour raccourcir les admissions, on a souvent recours au système des deux tiroirs superposés. Mais c'est surtout au moyen de la multiple expansion qu'on obtient les longues détentes, tant en vue de la simplicité de la distribution qu'à raison de l'importance inévitable des espaces morts.

La courte durée des échanges de chaleur atténue les actions de paroi. Les enveloppes de vapeur deviennent moins utiles. La surchauffe, qui serait peu compatible avec la nature des organes habituels de distribution, est jusqu'à present laissée de côté.

Nous passerons d'abord la revue des principales machines à grande vitesse où se trouve conservé le fonctionnement à double effet. L'examen des types à simple effet viendra ensuite.

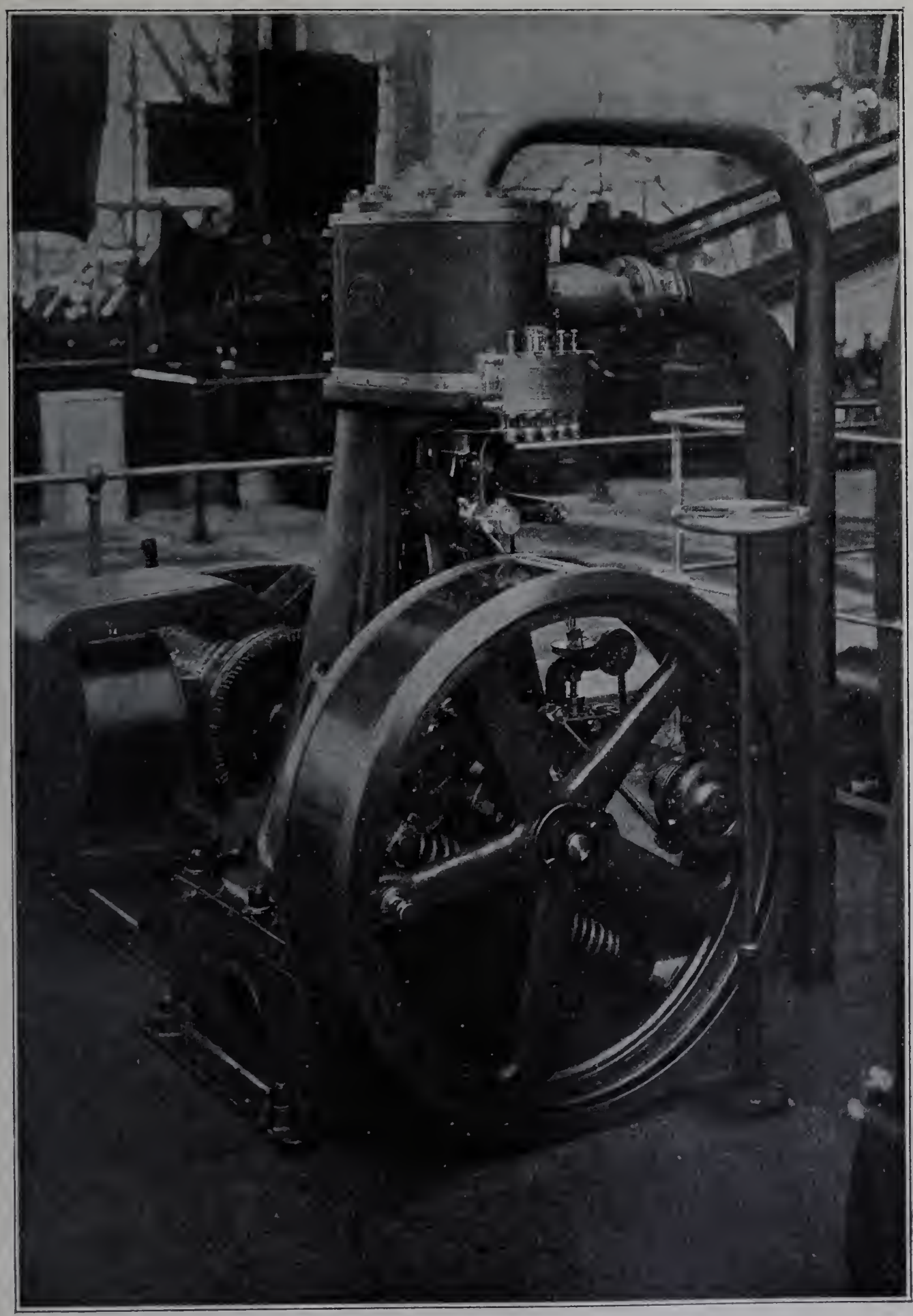


Fig. 520. — Moteur de 30 chevaux à 300 tours par minute, de MM. Sulzer frères.

IMPRIMERIE NATIONALE.

§ 1. Machines à double effet.

Simple expansion. — L'expansion multiple étant particulièrement utile aux machines à rotation rapide, le système monocylindrique ne leur est guère appliqué lorsqu'il s'agit d'unités importantes. Mais nous le trouvons employé, par raison de simplicité, dans la construction des moteurs de petite puissance.

Nous en avons déjà mentionné un exemple : c'est le moteur horizontal à tiroir cylindrique exposé par MM. Stork (fig. 256).

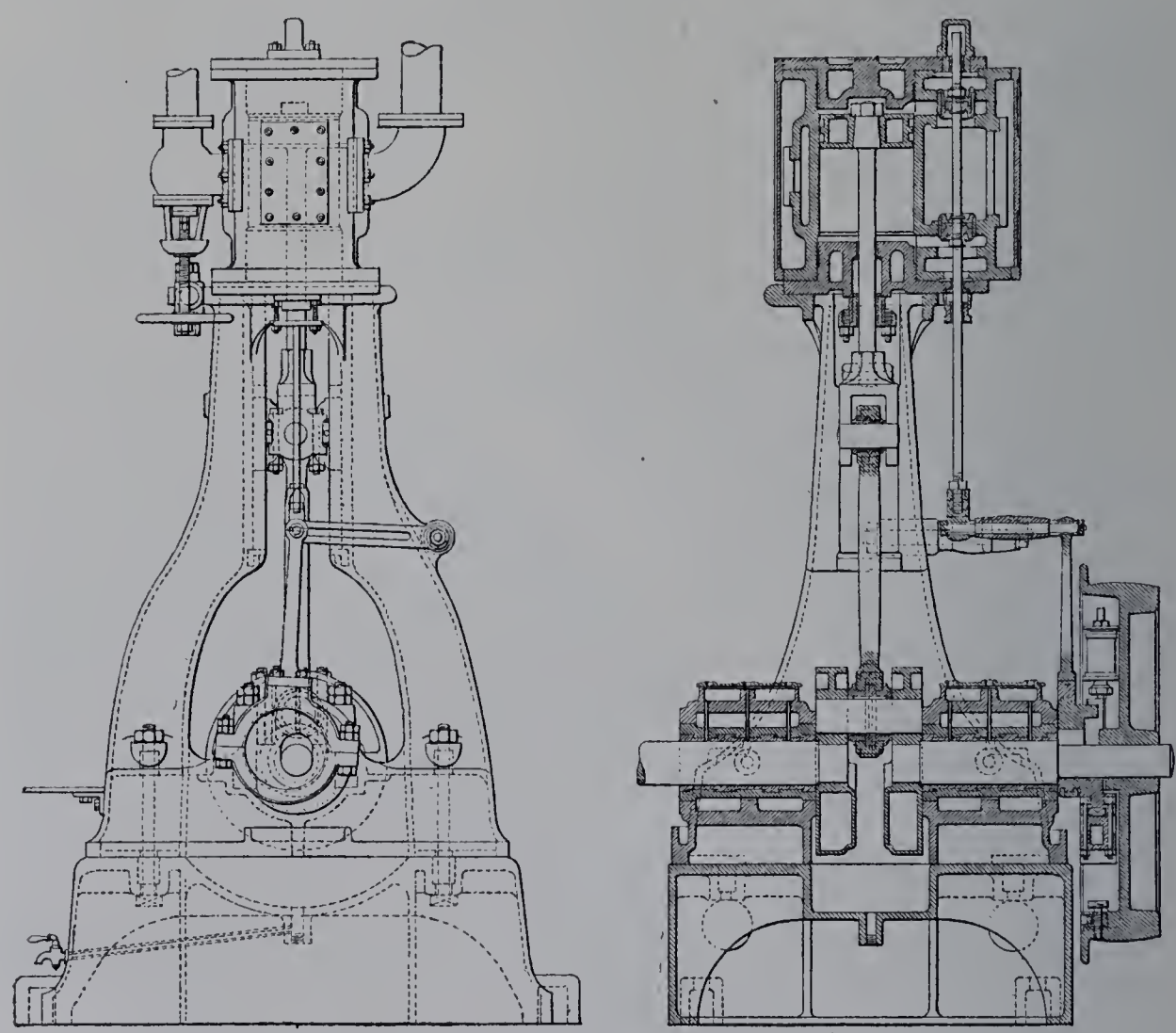


Fig. 521. — Moteur de 20 chevaux à 450 tours par minute, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

Plus souvent, les moteurs de cette catégorie sont verticaux. C'est ainsi que MM. Sulzer ont établi, pour faire tourner l'excitatrice de l'alternateur Brown-Boveri auquel est attelée leur grande machine horizontale à triple expansion, le moteur pilon représenté par la figure 520 ; avec 20 centimètres d'alésage et autant de course, cet appareil développe 30 chevaux effectifs à 300 tours par minute, allure qui correspond pour le piston à une vitesse moyenne de 2 mètres par seconde. MM. Garnier et Faure-Beaulieu présentent un moteur de 0 m. 17 d'alésage et 0 m. 16 de course, qui, au régime de 450 tours par minute, avec une pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré et 1/5 d'admission, développe 20 chevaux effectifs : la figure 521 permet d'en apprécier la dis-

position. Ne manquons pas de signaler aussi la minuscule machine représentée par les figures 522 et 523, dont le constructeur est M. A. L. Thune, de Christiania (Norvège).

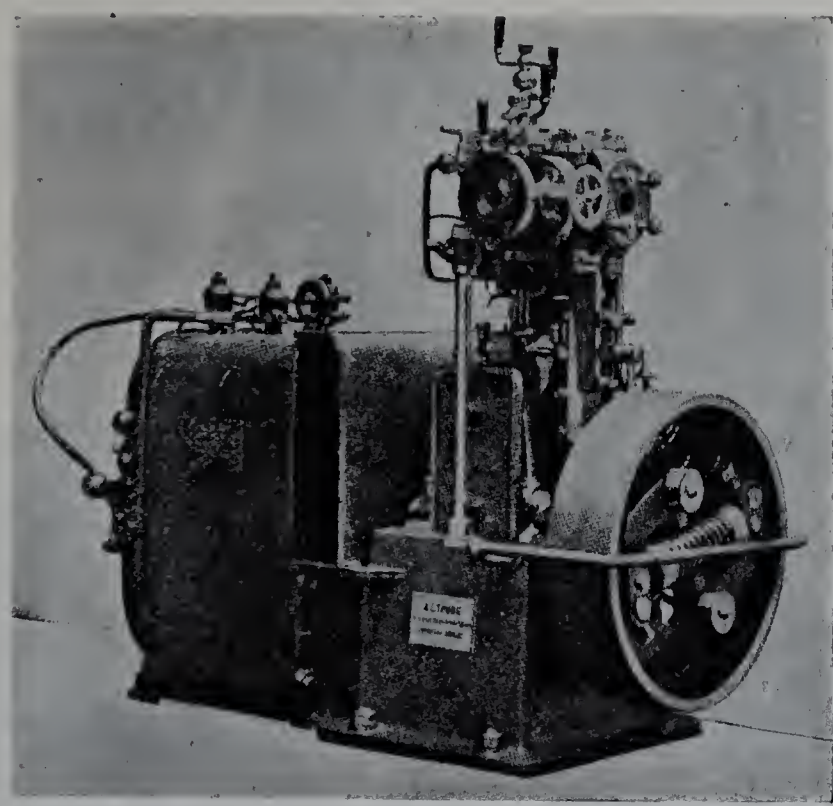


Fig. 522. — Petite machine monocylindrique à grande vitesse, de M. Thune.

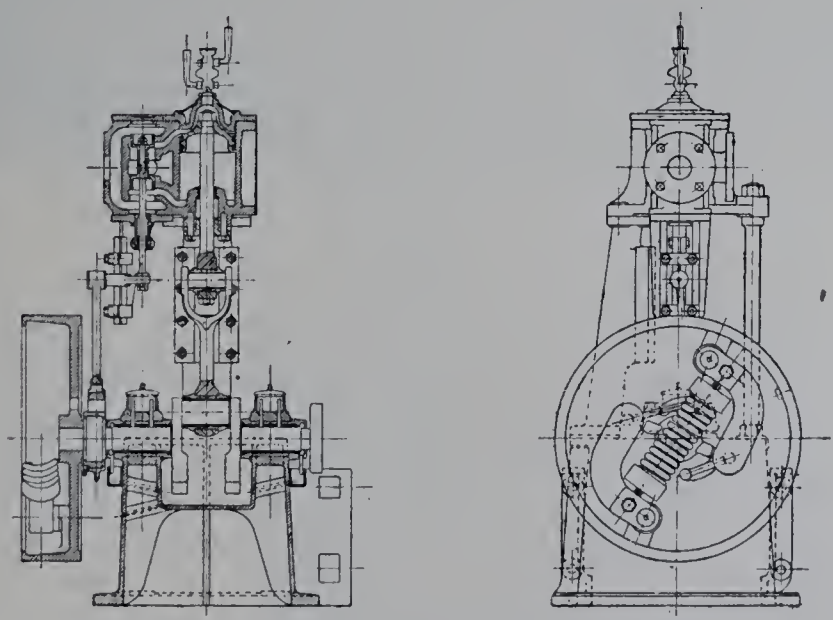


Fig. 523. — Coupe longitudinale et élévation latérale.

Elle tourne à 600 tours par minute et, alimentée sous la pression de 7 kilogrammes par centimètre carré, elle développe 5 chevaux 1/2 avec les dimensions suivantes :

$$D = 0^{m}095 \qquad \frac{L}{D} = 0.95$$
$$L = 0\ 090$$
$$N = 600 \qquad \frac{2LN}{60} = 1^{m}80$$

L'accélération maximum du piston atteint 177 m : s². Le bâti est du type marin à glissière plate, avec une seule colonnette. L'arbre-vilebrequin tourne dans de longs paliers qui font corps avec un socle extrêmement robuste, invariablement relié à la masse de la dynamo Schuckert dont ce moteur fait tourner l'induit.

Dans ces diverses machines, la distribution est donnée par un tiroir cylindrique, mû par un excentrique à calage variable sous la dépendance immédiate d'un régulateur logé dans un puissant volant.

Double expansion. — *Type horizontal.* — *Machine Ball.* — Nous trouvons la double expansion et la distribution par tiroirs simples, avec pression initiale de 9 kilogrammes

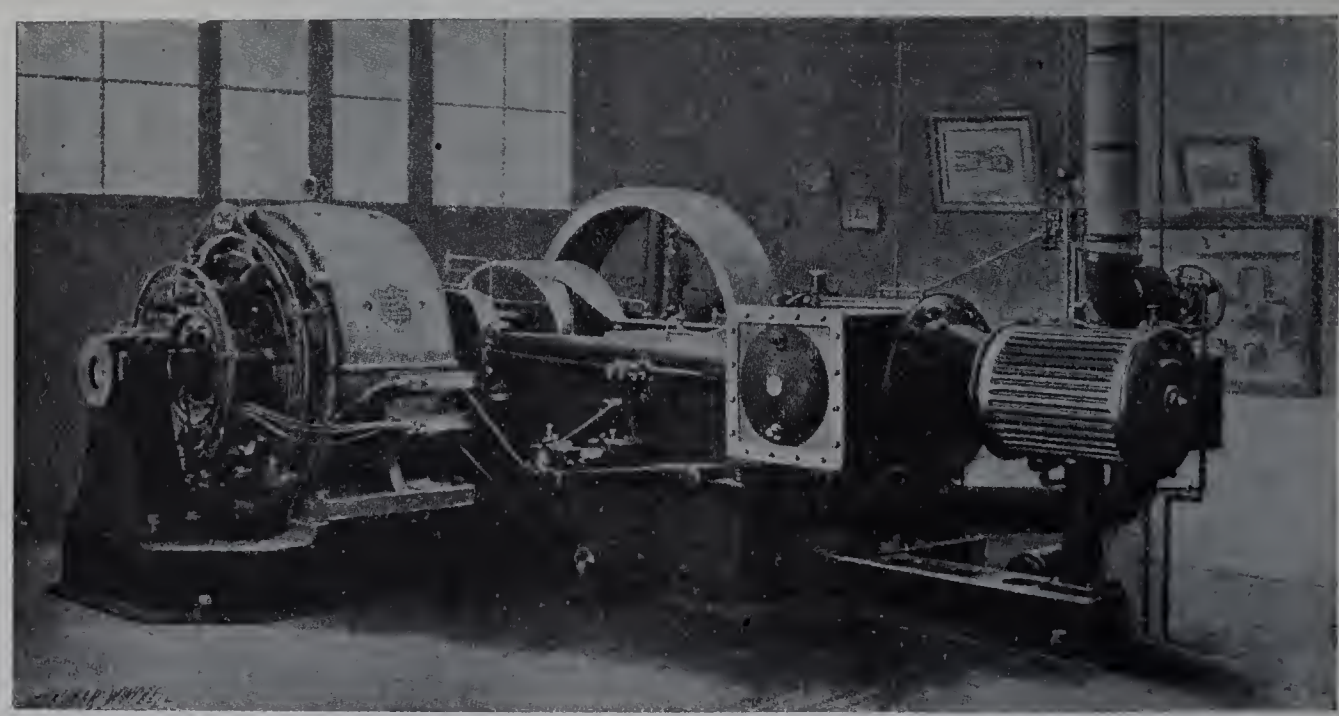


Fig. 524. — Machine compound à grande vitesse de la *Ball engine C°*. — Vue d'ensemble.

par centimètre carré et échappement à l'air libre, dans le seul moteur américain en fonctionnement à l'Exposition, celui du groupe électrogène de Vincennes dont nous avons déjà décrit les générateurs de vapeur. La vitesse angulaire est de 200 tours par minute et la puissance de 300 chevaux. Ce moteur, construit par la Ball engine C°, d'Erie (Pensylvanie), est horizontal avec cylindres en tandem (fig. 524 à 527); ses dimensions sont :

$$D_1 = 0^m380 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.2$$
$$D_2 = 0\ 630 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.75$$
$$L = 0\ 455 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m.$$
$$N = 200$$

Ces données font ressortir l'accélération maximum des pistons à environ 100 m : s².

L'arbre est coudé. Il tourne dans deux paliers qui font partie d'un bâti en U solidement assis sur une plaque de fondation générale. Il porte d'un côté un volant, qui fait

en même temps office de régulateur, de l'autre l'induit de la dynamo. Le volant est en porte-à-faux; du côté de la dynamo, l'extrémité de l'arbre est supportée par un troisième palier. Sur le bâti est boulonné le grand cylindre; derrière vient le petit, relié à l'autre par une lanterne tronconique en fonte et soutenu par un chandelier fixé à la plaque de fondation.

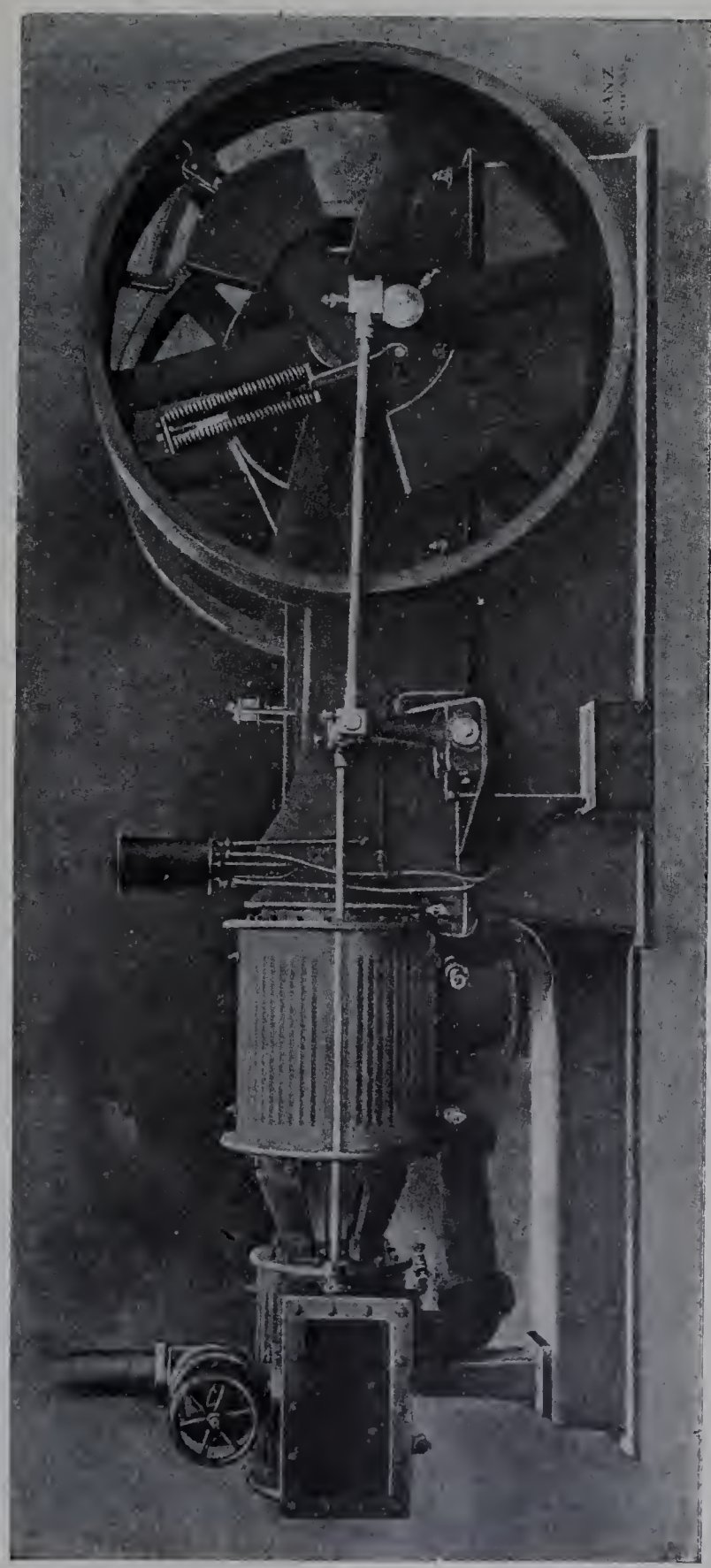


Fig. 525. — Elévation latérale, montrant le régulateur.

Les tiroirs de distribution sont placés latéralement aux cylindres, l'un d'un côté, l'autre de l'autre. Celui du petit cylindre se trouve du côté du volant et est conduit par un relais de bielles qui prend sa commande, comme nous l'expliquerons tout à l'heure, sur un bouton de manivelle dépendant du régulateur. Celui du grand cylindre reçoit son mouvement d'un excentrique à calage fixe.

Ces tiroirs sont équilibrés et donnent l'admission par les arêtes intérieures. Ils n'appartiennent pas, cependant, au type des tiroirs cylindriques. Ce sont des tiroirs plans à double face (fig. 526 et 527). Le tiroir constitue une boîte à soufflet, continuellement pleine de vapeur vive et dont la pression tend à écarter les deux faces, en les appliquant respectivement sur les deux glaces à lumières disposées dans la boîte de distribution. Le soufflet est formé de deux cylindres à base circulaire emboîtés l'un dans l'autre, le plus petit étant garni extérieurement de trois segments et formant piston dans le plus grand; l'étanchéité de ce joint glissant est évidemment fort importante. La boîte ronde ainsi constituée a chacun de ses fonds percé d'un large orifice et recou-

vert d'une plaque rectangulaire, évidée en son milieu d'une fenêtre rectangulaire elle-même; cette plaque est la partie frottante du tiroir. La pièce de commande, qui reçoit le mouvement du relais de bielles, le transmet simultanément aux deux plaques frottantes par un attelage disposé de manière à laisser libre le jeu du soufflet.

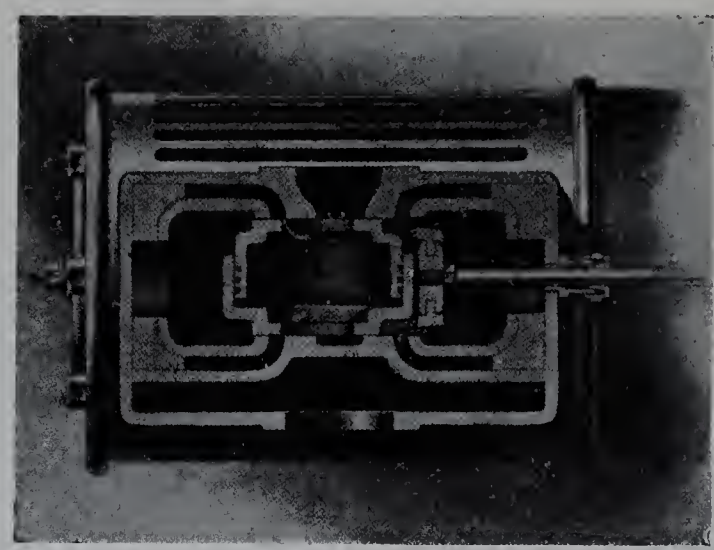


Fig. 526. — Coupe du tiroir du cylindre de haute pression.

Le régulateur (fig. 525) se compose d'un bras unique chargé d'une masse à chacune de ses extrémités et tourillonné sur le volant. Si pareil attirail était articulé par son centre de gravité sur l'axe de rotation du volant, il constituerait un régulateur d'inertie, qui pourrait occuper une position quelconque sans que le volant prît de balourd; mais le système serait propre seulement à contrecarrer les variations de la vitesse sans régler la grandeur de celle-ci. Afin de faire intervenir la force centrifuge conjointement avec la force d'inertie tangentielle, la disposition est quelque peu différente : l'attirail est tourillonné sur un point du volant légèrement excentrique et a son centre de gravité en dehors du point d'articulation; les déplacements angulaires de l'attirail par rapport au volant écartent ce centre de gravité de l'axe de rotation ou l'en rapprochent. Un ressort à boudin sollicite l'attirail en sens inverse de la force centrifuge.

Fig. 527. — Vue du tiroir.

Dans un appareil de ce genre, il convient évidemment que, pour la position d'équilibre de l'attirail correspondant à la vitesse normale, la dissymétrie de cet attirail soit contre-balancée par une dissymétrie équivalente du volant ou de l'arbre, de manière à

éviter tout balourd. Toutefois, réalisé pour la vitesse normale, ce centrage du système tournant ne peut demeurer rigoureux aux vitesses différentes; il faut donc que l'excursion du centre de gravité de l'attirail entre la marche à vide et la pleine charge soit assez faible pour que le balourd ne devienne jamais trop sensible.

Types verticaux. — Avec la disposition verticale, une assez grande vitesse de rotation, la double expansion et une distribution par tiroirs, on constitue des moteurs de moyenne puissance particulièrement peu encombrants, d'une installation facile, dont la construction et l'entretien bénéficient de toute l'expérience acquise dans l'établissement et l'emploi des appareils de navigation.

Il y a là une série de machines intéressantes, non qu'elles présentent des dispositions extraordinaires, mais parce que le caractère pratique de leur plan général et les détails de leur construction en font des engins fort recommandables, répondant d'une manière heureuse au programme de leurs applications.

H. Brûlé et Cie. — C'est ainsi que le moteur vertical présenté par MM. H. Brûlé et Cie, de Paris (fig. 528 à 531), reproduit les dispositions essentielles des moteurs de bateaux

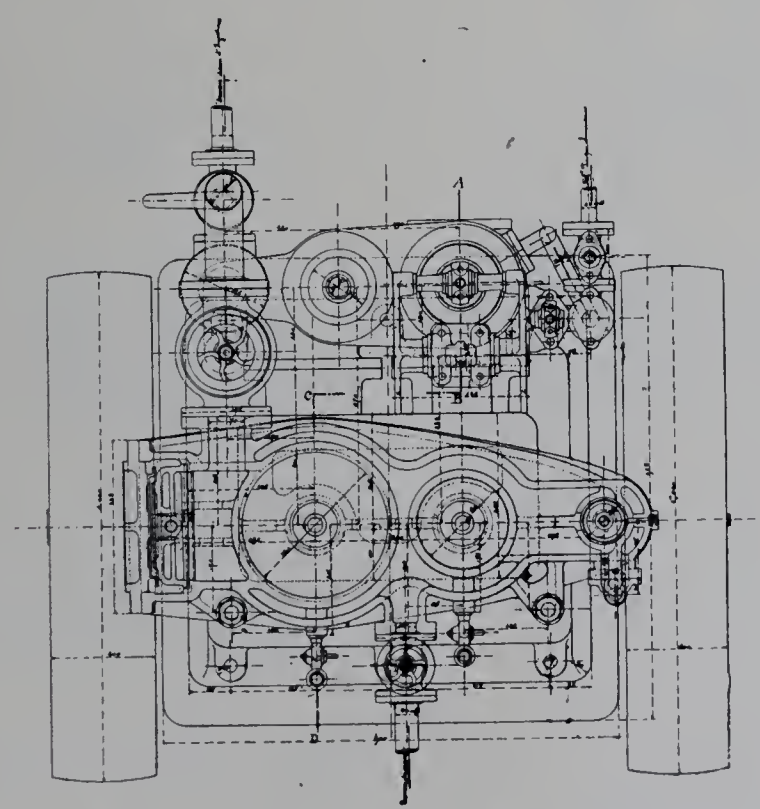


Fig. 528. — Machine verticale compound de MM. H. Brûlé et Cie. — Plan.

provenant de chez ces constructeurs. Les deux cylindres compound juxtaposés, le passage de vapeur qui leur sert de réservoir intermédiaire et l'enveloppe de vapeur forment un même ensemble, porté sur deux montants à glissière, qui font partie d'un bâti à base rectangulaire de 0 m. 80 × 0 m. 76. L'arbre, doublement coudé, est assujetti dans trois paliers qui font corps avec le bâti. Les manivelles sont décalées de 90 degrés et

un robinet à trois voies permet une introduction directe au grand cylindre pour dépiquer.

La vitesse angulaire est de 150 tours par minute; les dimensions essentielles sont indiquées par le résumé suivant :

$$D_1 = 0^m34 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.18$$
$$D_2 = 0\ 55 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$
$$L = 0\ 40 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m.$$
$$N = 150$$

La vitesse moyenne des pistons est, on le voit, fort modérée; leur accélération maximum ne dépasse pas 50 m : s².

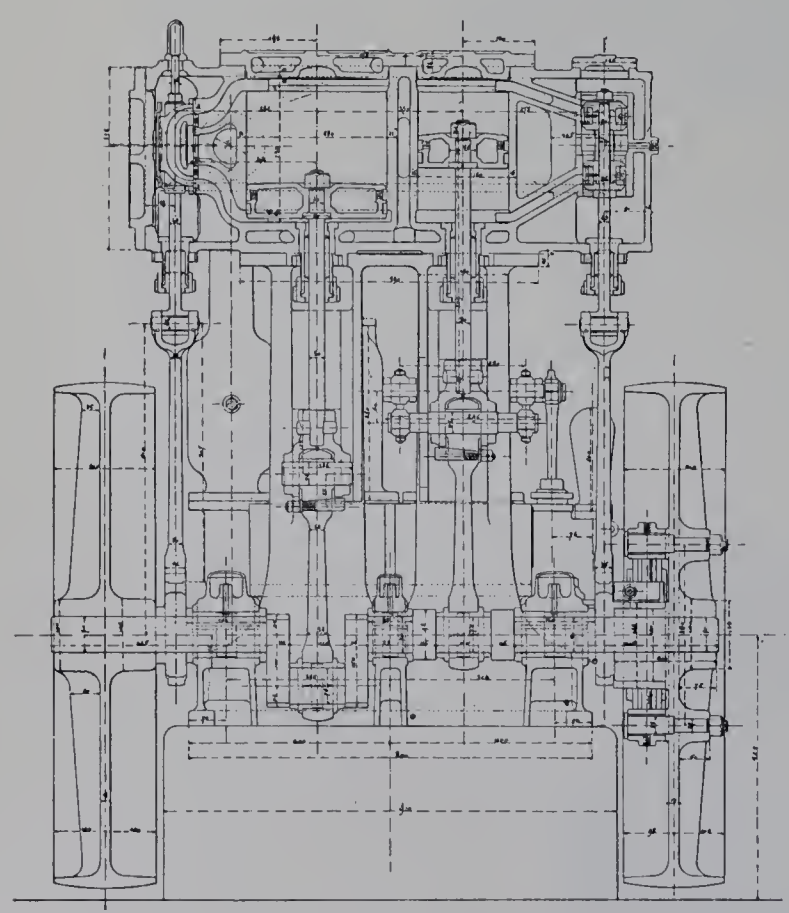


Fig. 529. — Coupe longitudinale.

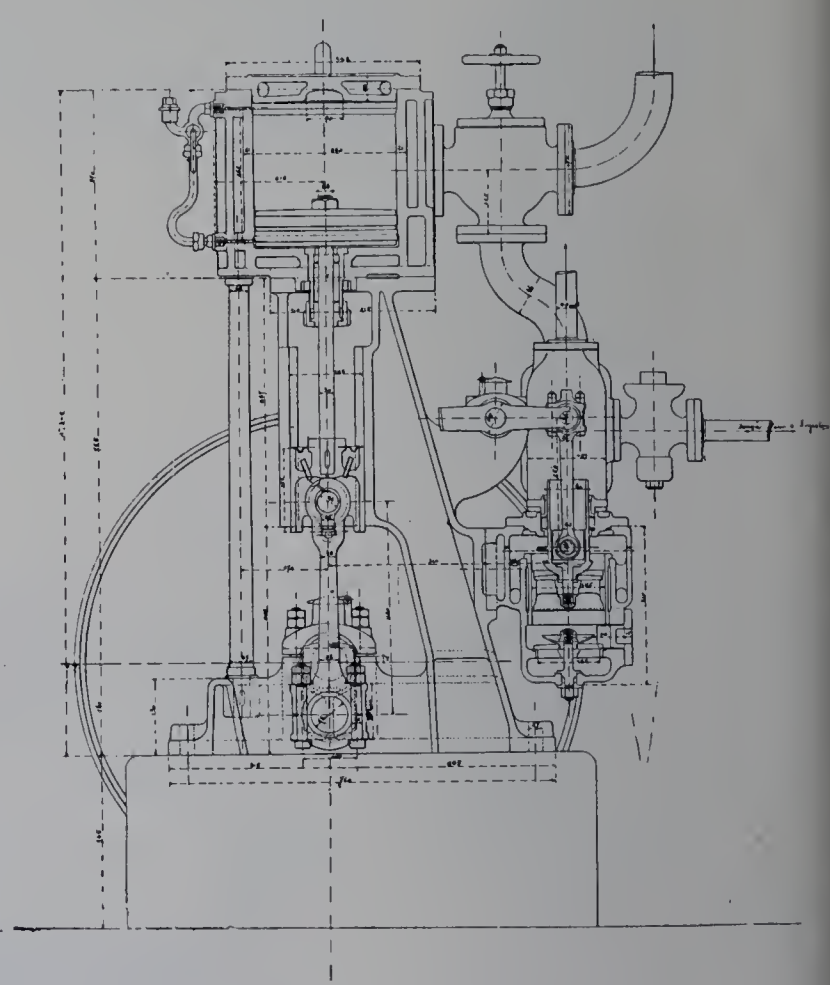


Fig. 530. — Coupe transversale.

Avec la pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré, la puissance est d'environ 190 chevaux indiqués.

La distribution est donnée au petit cylindre par un tiroir cylindrique, au grand par un tiroir plan à canal de Trick. Ces tiroirs, placés latéralement de part et d'autre du groupe des deux cylindres, sont commandés chacun par un excentrique calé sur l'arbre extérieurement aux paliers.

Les seules dispositions par lesquelles l'appareil se distingue d'un moteur de bateau consistent en ce que l'arbre-vilebrequin porte à chacune de ses extrémités une poulie-volant, de 1 m. 50 de diamètre; la poulie-volant située du côté de la haute pression

constitue en même temps un régulateur à force centrifuge, du type Armington, sous la dépendance duquel est placé l'excentrique qui commande le tiroir de distribution.

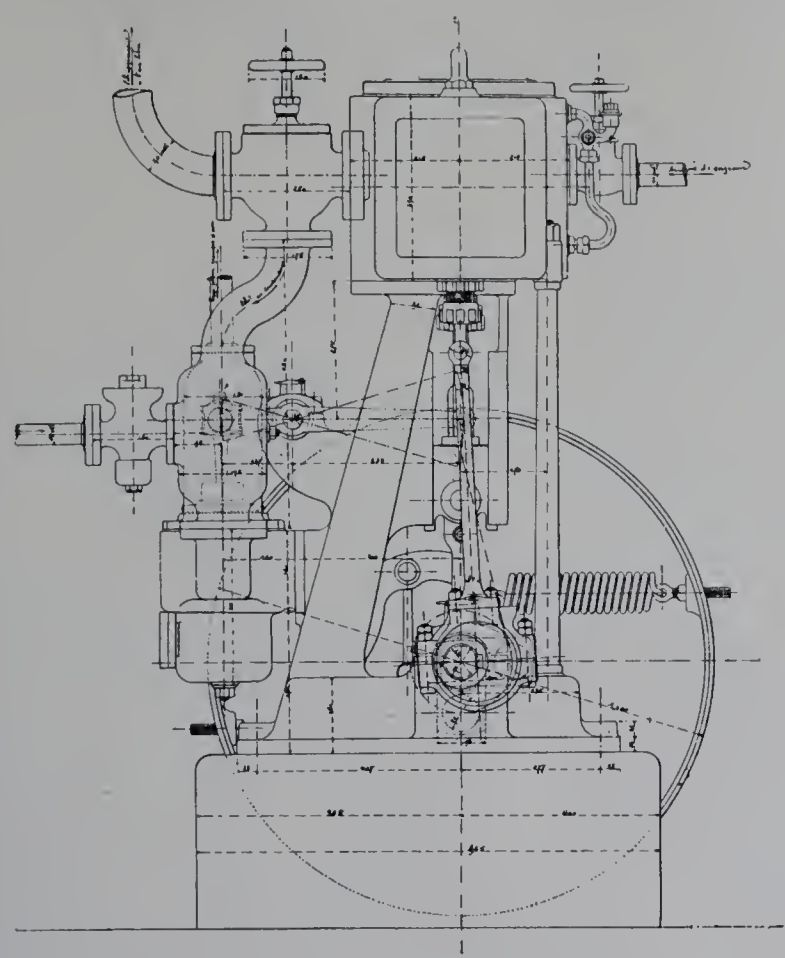


Fig. 531. — Élévation latérale.

Chaligny. — La machine compound verticale exposée par MM. Chaligny et Cie, de Paris, développe 100 chevaux à la vitesse de 180 tours par minute, avec une pression initiale de 7 kg : cm² et sans condensation (fig. 532 à 536). Les deux cylindres sont disposés côte à côte au-dessus de l'arbre coudé; le bâti comprend, en une seule pièce, les trois paliers qui encadrent les deux manivelles et un fort montant sur lequel sont rapportées les deux glissières plates; à l'avant, deux colonnes verticales d'acier relient au socle la base des cylindres. Ceux-ci ne forment qu'un bloc, enveloppé de vapeur vive. Les dimensions caractéristiques sont :

$$D_1 = 0^m 275 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.15$$
$$D_2 = 0\ 475 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 3$$
$$L = 0\ 315 \qquad \frac{2LN}{60} = 1^m 9$$
$$N = 180$$

La distribution est faite au moyen de tiroirs plans, disposés de part et d'autre de l'ensemble. Elle est fixe au grand cylindre; au petit, elle est réglable à la main, au cours du fonctionnement, au moyen d'une coulisse dessinée de manière que l'avance linéaire soit la même pour toutes les introductions.

Le moteur est pourvu, en outre, d'un régulateur à force centrifuge, à bielles croisées

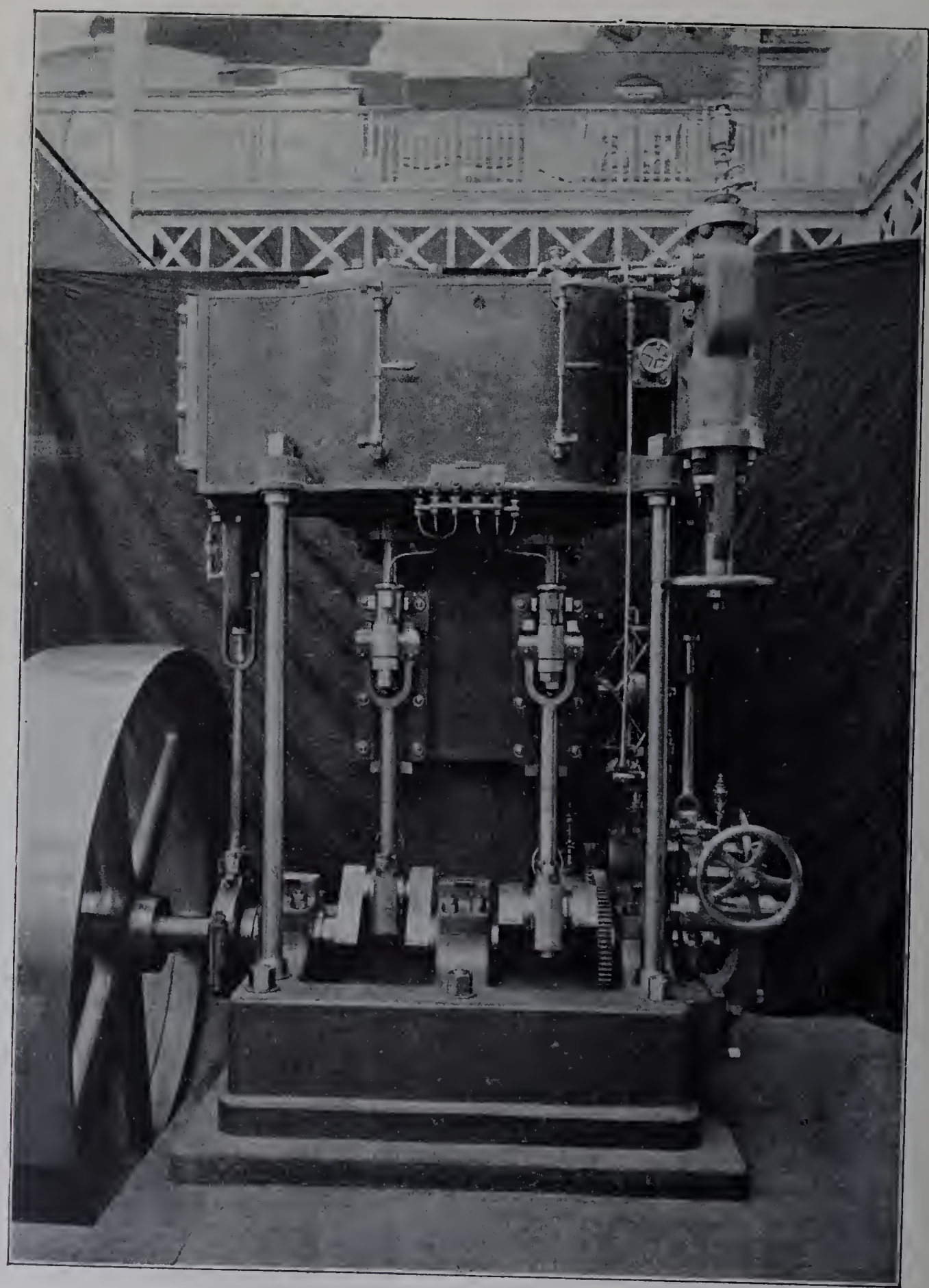


Fig. 532. — Machine verticale compound de M. Chaligny.

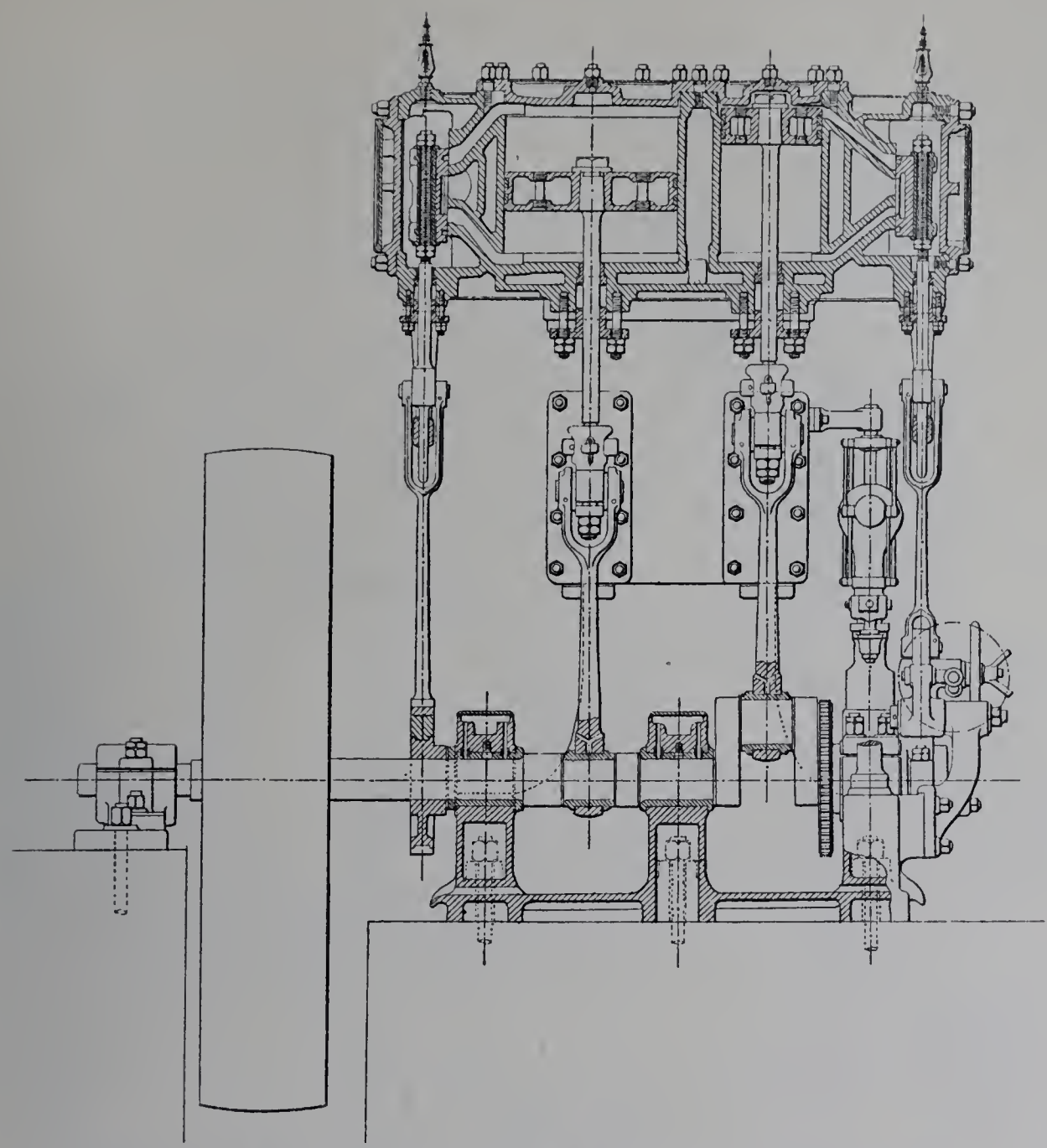


Fig. 533. — Machine verticale compound de M. Chaligny. — Coupe longitudinale.

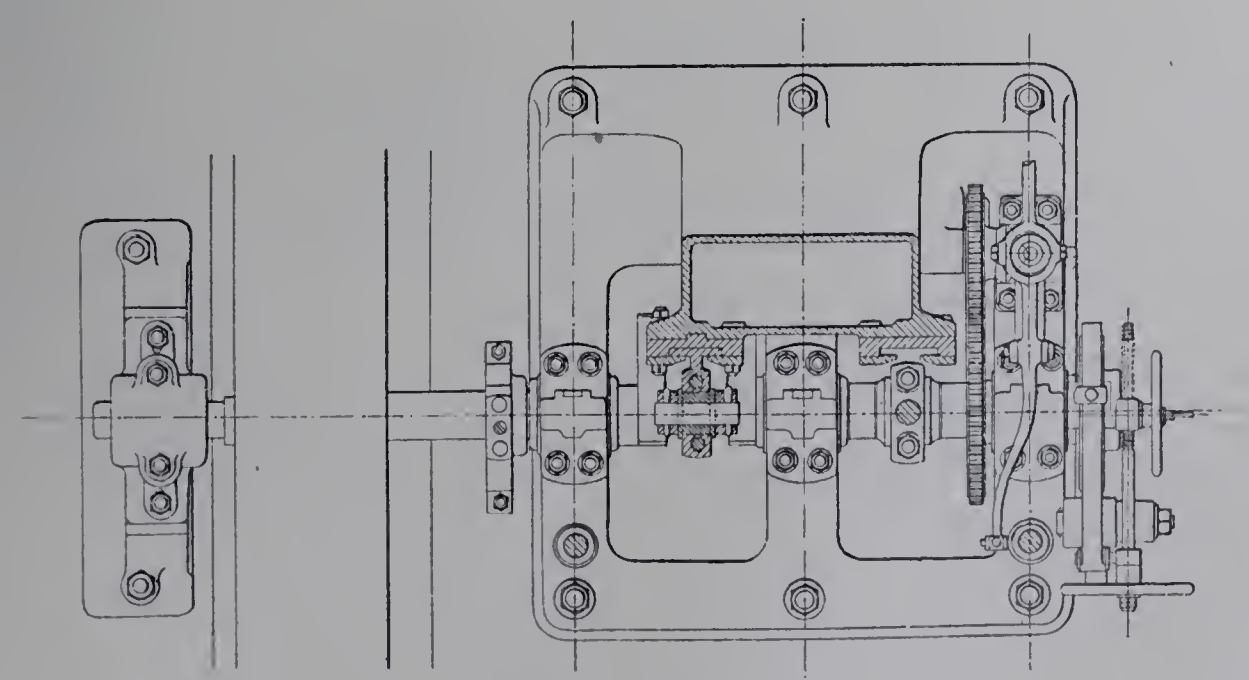


Fig. 534. — Plan.

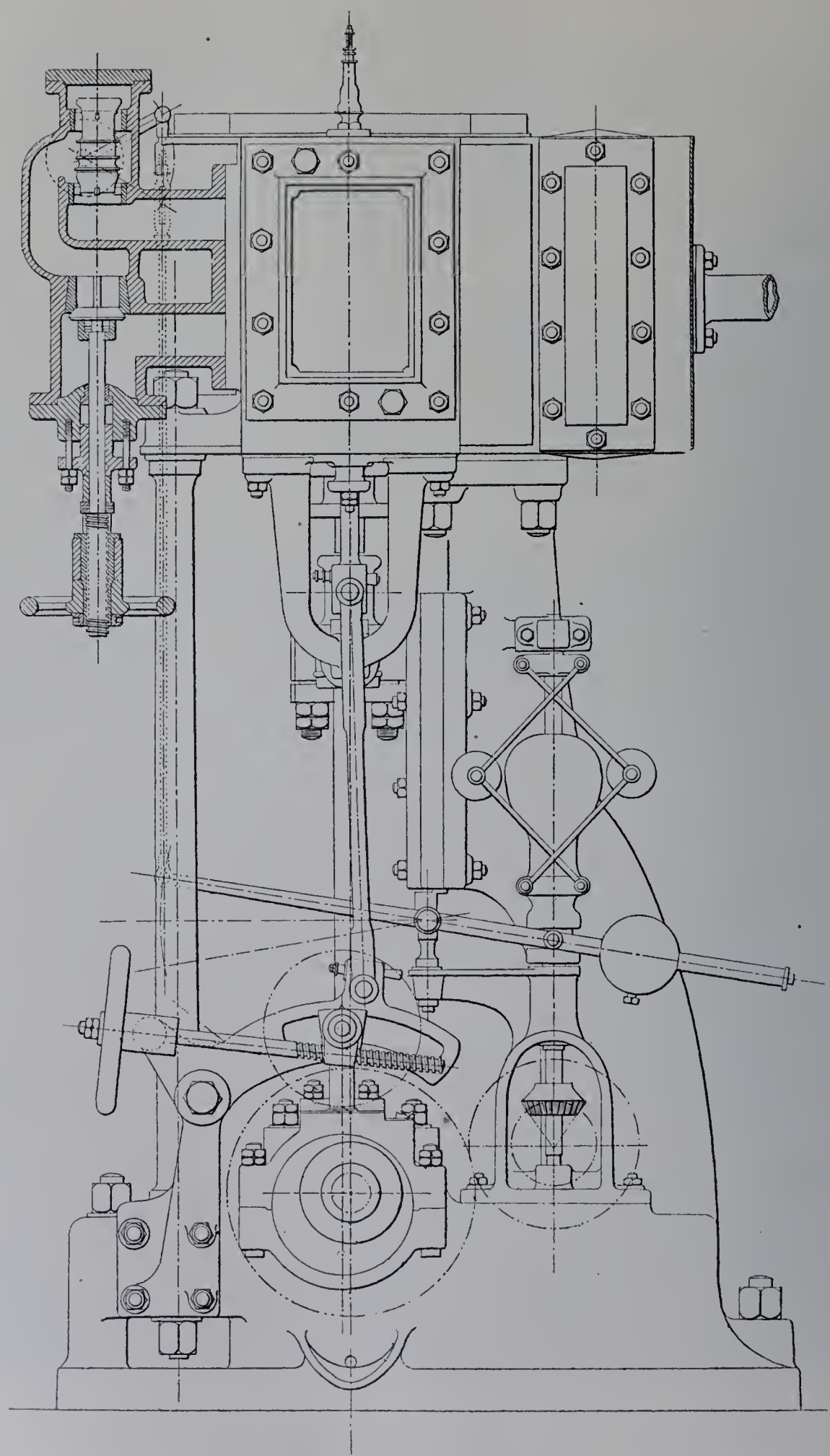


Fig. 535. — Élévation latérale.

et à charge de manchon réglable, qui agit sur une soupape équilibrée interposée entre la soupape de prise de vapeur manœuvrable à la main et la boîte de distribution du petit cylindre.

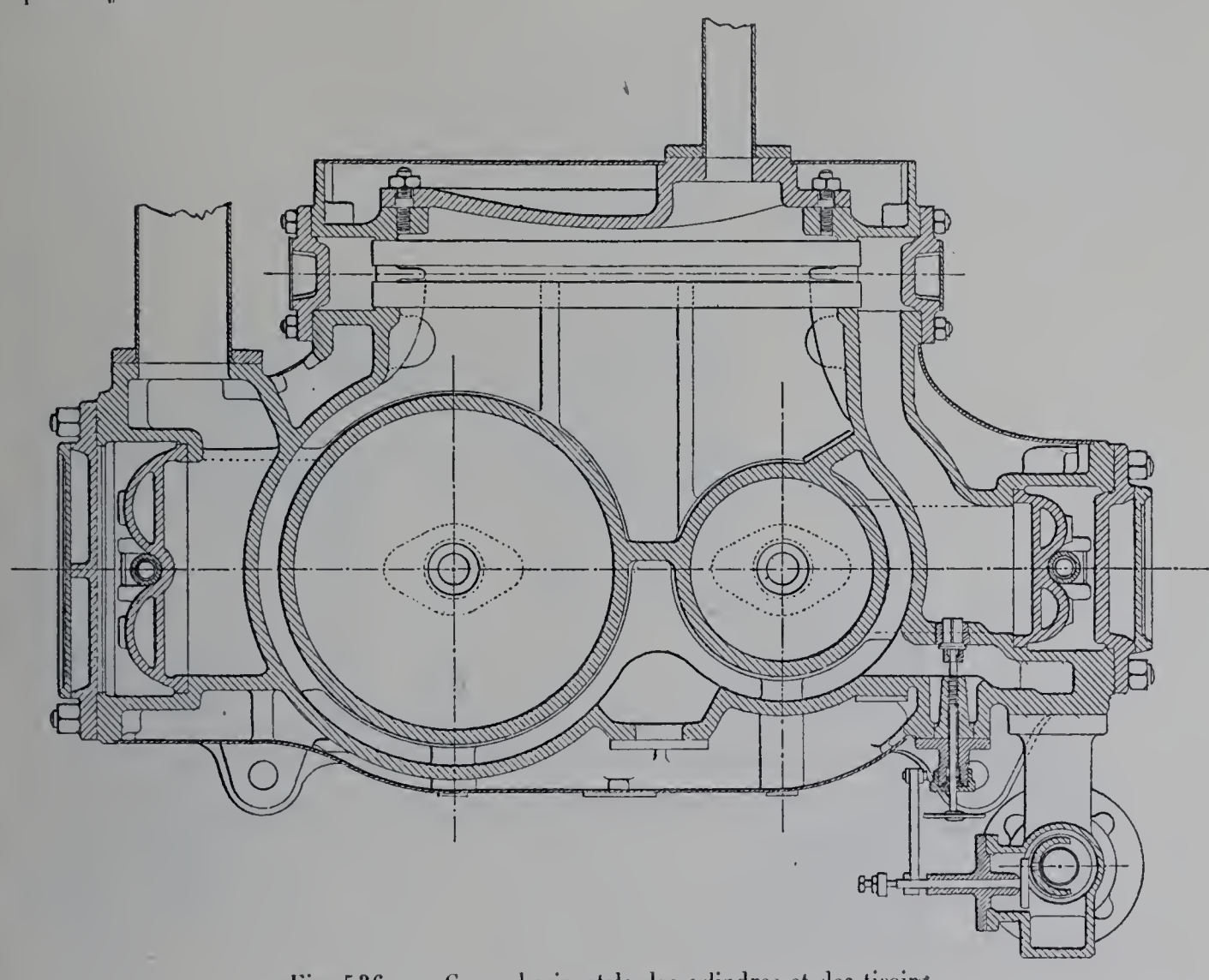


Fig. 536. — Coupe horizontale des cylindres et des tiroirs.

Sautter, Harlé et Cie. — Des groupes électrogènes compacts, de petite ou de moyenne puissance, pouvant servir en particulier pour l'éclairage des navires, sont au nombre des spécialités de l'ancienne maison Sautter et Lemonnier, actuellement Sautter, Harlé et Cie, de Paris. Ces constructeurs ont exposé cinq groupes de ce genre. Le plus puissant (fig. 537 et 538) est destiné à fournir un courant continu de 1,100 ampères sous 120 volts, soit une puissance de 132 kilowatts. Le moteur, qui développe sur ses pistons une puissance de 220 chevaux indiqués, appartient par ses dispositions générales au même type que les précédents. Sa vitesse angulaire atteint 275 tours par minute; la course des pistons a été limitée de manière à leur donner une vitesse moyenne de 3 mètres par seconde; leur accélération maximum s'élève à 137 m : s².

$$D_1 = 0^m40 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.83$$
$$D_2 = 0\ 57 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.04$$
$$L = 0\ 33 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m.$$
$$N = 275$$

L'arbre-vilebrequin est assujetti dans quatre paliers solidaires du bâti, dont deux côte à côte au centre; entre ces deux paliers voisins est prise, par engrenage, la commande d'un régulateur à force centrifuge. Sur l'une des extrémités de cet arbre est monté, en porte-à-faux, un volant de 1 m. 20 de diamètre; l'autre extrémité est épanouie en un plateau d'assemblage sur lequel est boulonné l'arbre propre de la dynamo, qui fait suite à l'autre et qui, à son extrémité opposée, est soutenu par un palier porteur. Le socle du moteur et celui de la dynamo sont assemblés par boulons et ne forment qu'un seul et même ensemble rigide, occupant un emplacement de 3 m. 815 × 1 m. 465.

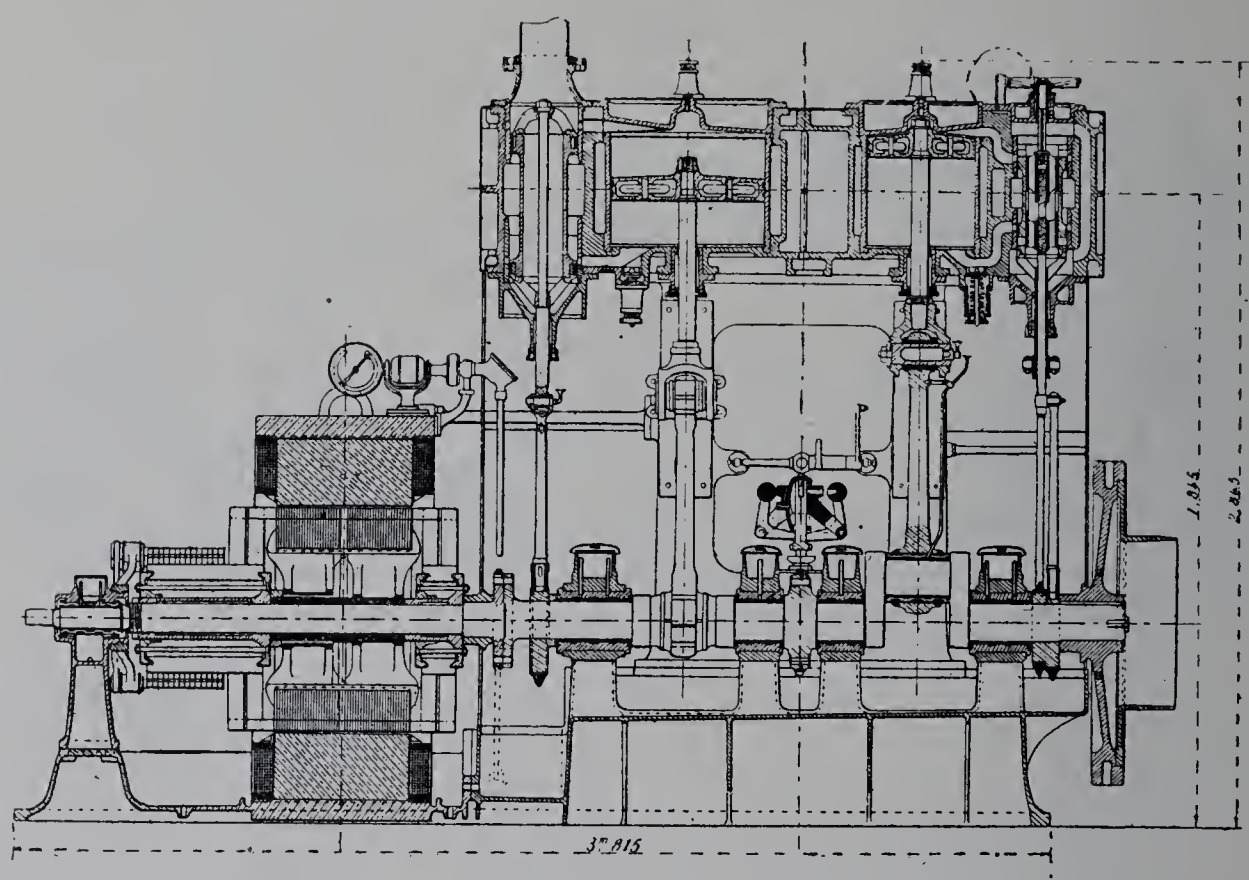


Fig. 537. — Machine compound verticale de MM. Sautter, Harlé et Cie. — Coupe longitudinale.

Les deux cylindres sont à enveloppe de vapeur vive. Entre eux est disposé un réservoir intermédiaire ayant à peu près même capacité que le cylindre de basse pression.

La distribution est faite au moyen de tiroirs cylindriques. Au grand cylindre, c'est un tiroir simple. Au cylindre de haute pression, c'est un système de deux tiroirs concentriques, le tiroir intérieur formant organe de détente d'après le système Meyer. Les excentriques sont à calage fixe; le tiroir de détente est formé de deux parties qui peuvent être écartées ou rapprochées l'une de l'autre, de manière à équivaloir à un tiroir plus ou moins long, portées qu'elles sont par une tige à deux filetages inverses. Un volant à main, disposé au-dessus de la boîte de distribution en prolongement de cette tige, permet de régler le degré d'admission.

Ce n'est pas, en effet, sur cet élément de la distribution que s'exerce l'action automatique du régulateur. MM. Sautter, Harlé et Cie préfèrent placer sous la dépendance de celui-ci un organe d'étranglement de l'arrivée de vapeur. C'est une vanne en forme de cloche, dont la soupape est portée par une tige à long fourreau sans garniture; sur

la transmission qui relie cette tige au manchon du régulateur est interposé un compensateur, de façon à ramener automatiquement la vitesse à une même valeur pour toute charge.

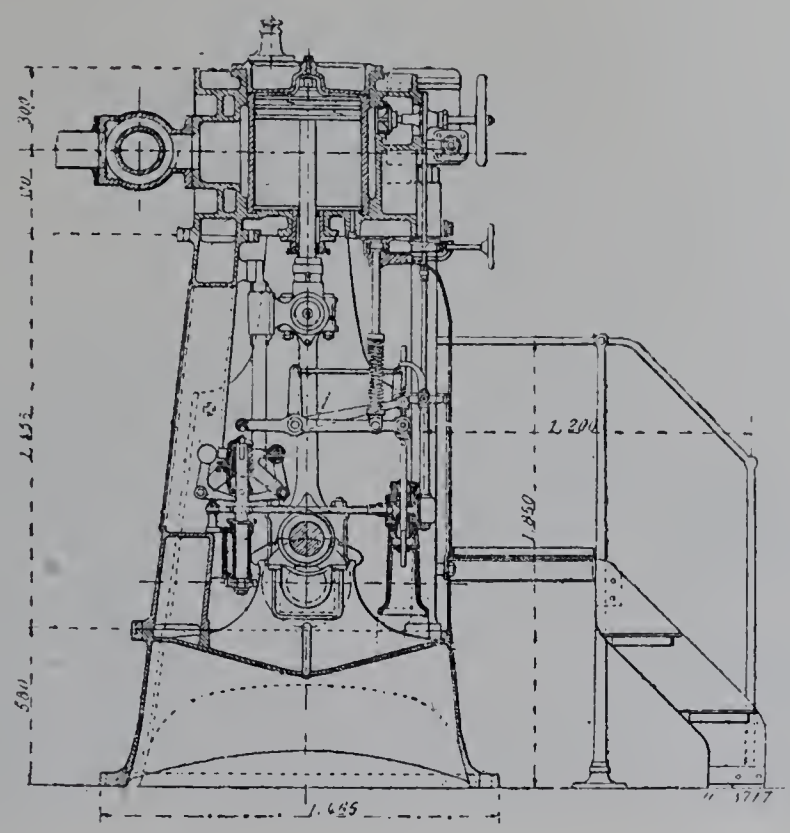


Fig. 538. — Coupe transversale.

Lederer et Porges. — Le moteur de groupe électrogène qu'exposent MM. Lederer et Porges, de Kœnigsfeld près Brünn (Autriche), a pour données :

$$D_1 = 0^m 34 \qquad \frac{L}{D_1} = 1$$
$$D_2 = 0\ 525 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.36$$
$$L = 0\ 35 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 33$$
$$N = 200$$

L'accélération maximum des pistons est 77 m : s².

Les figures 539 à 541 montrent les dispositions de la machine.

Nous trouvons ici les manivelles calées à 180 degrés l'une de l'autre. Sur le socle, dont les trois paliers font partie, sont boulonnés deux montants obliques portant les glissières plates et, à l'avant, deux colonnes inclinées.

Les cuvettes des manivelles forment bains d'huile. Par une disposition peu fréquente dans les machines verticales, les pistons sont surmontés de contre-tiges.

La distribution est obtenue au moyen de tiroirs cylindriques, placés de part et d'autre de l'ensemble. Du côté du petit cylindre, le tiroir est conduit par un excentrique à calage variable, placé sous la dépendance d'un régulateur-volant calé en porte-à-faux sur l'extrémité de l'arbre. Pour le cylindre à basse pression, l'excentrique est à

Fig. 539. — Machine compound verticale de MM. Lederer et Porges.

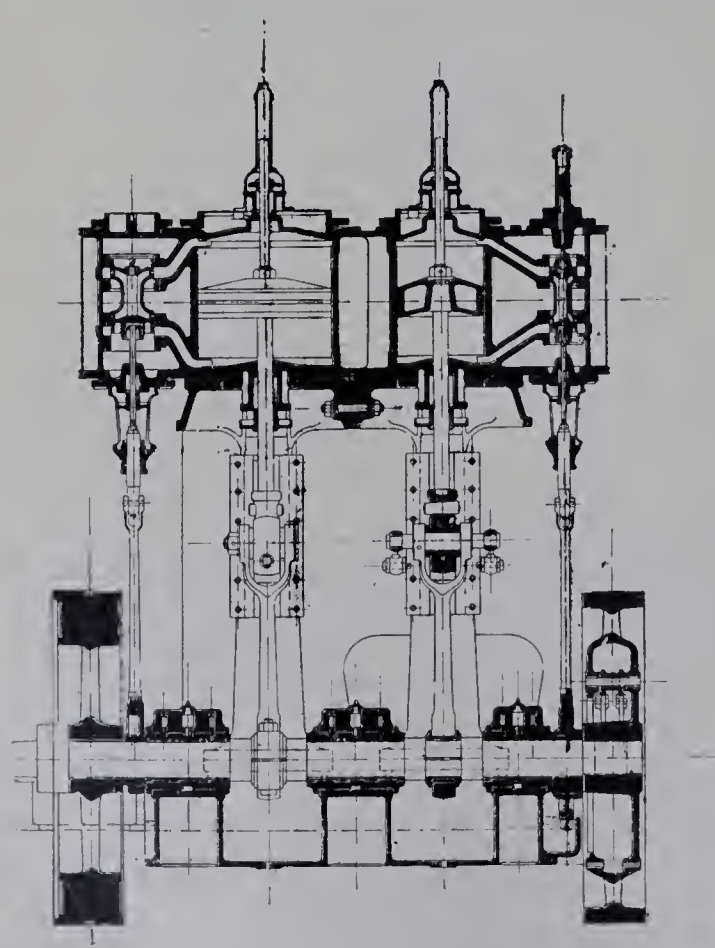


Fig. 540. — Coupe longitudinale.

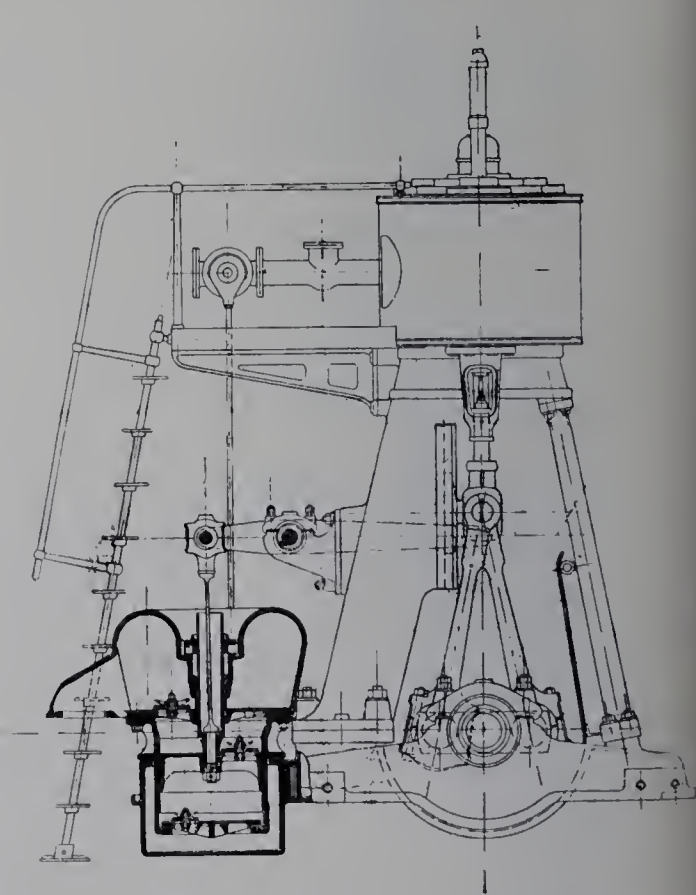


Fig. 541. — Elévation transversale.

calage fixe; l'extrémité de l'arbre, de ce côté, porte un volant ordinaire et se termine par un plateau d'accouplement, sur lequel est assemblé, en prolongement, l'arbre de la dynamo.

Section anglaise. — MM. Ruston, Proctor et Cie exposent un moteur compound de 70 à 80 chevaux indiqués, dont les figures 542 à 544 montrent la disposition générale et dont les données caractéristiques sont les suivantes :

$$D_1 = 0^m229 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.1$$
$$D_2 = 0\ 394 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.92$$
$$L = 0\ 254 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m12$$
$$N = 250$$

L'arbre coudé, à manivelles décalées de 180°, tourne dans trois paliers venus de fonte avec la plaque de fondation; il est supporté, en outre, par un palier extérieur de

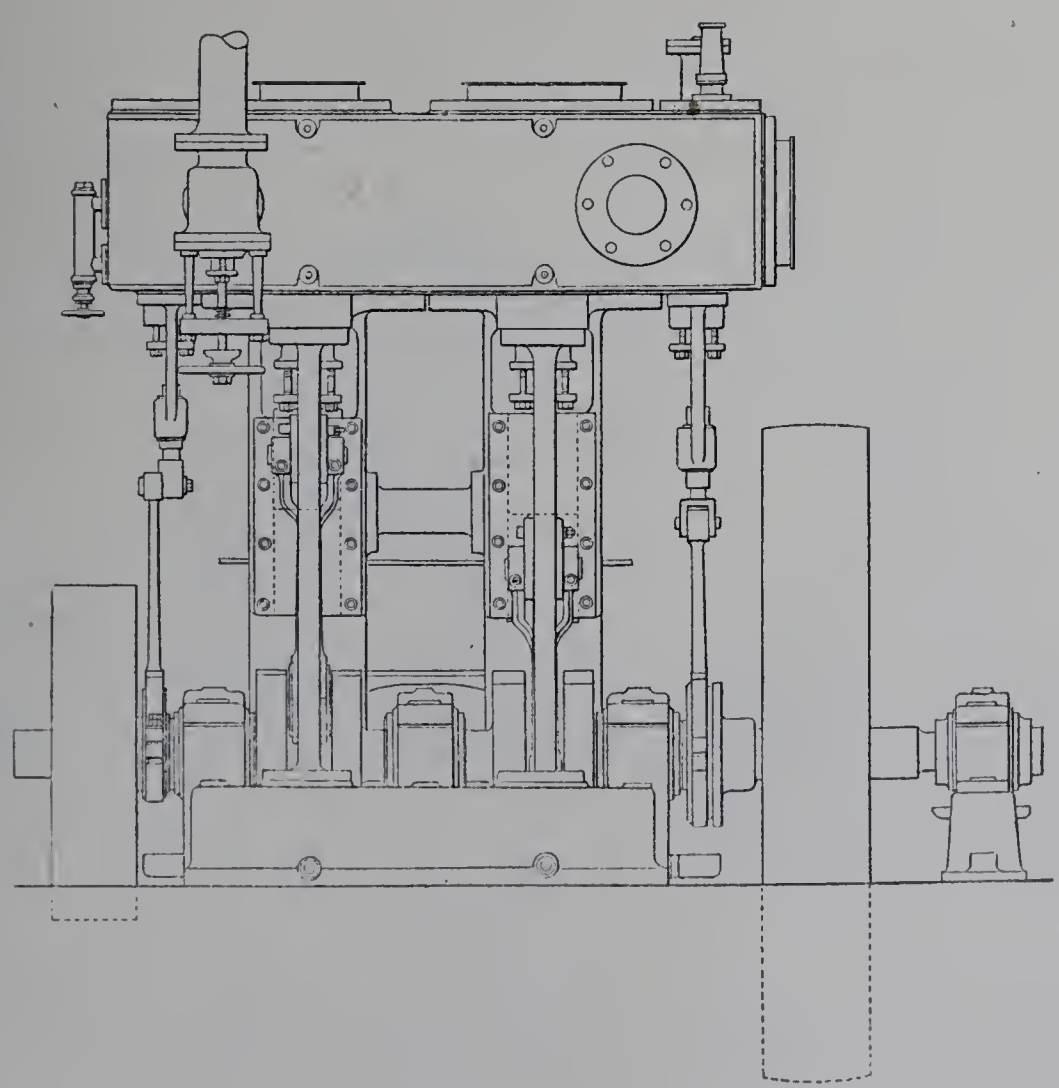


Fig. 542. — Machine compound verticale de MM. Ruston, Proctor et Cie. — Elévation longitudinale.

l'autre côté du volant. Des montants en fonte, boulonnés sur la plaque de fondation, et des colonnes en fer complètent le bâti. La distribution est faite au petit cylindre au moyen d'un tiroir cylindrique, complété par un tiroir de détente sous la dépendance

IMPRIMERIE NATIONALE.

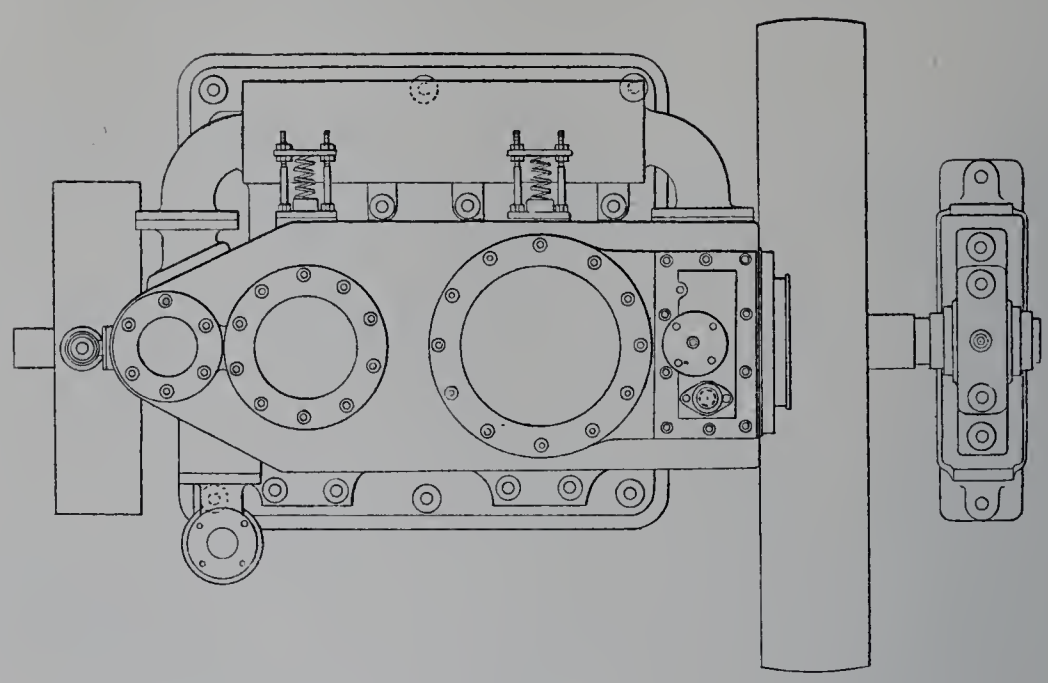


Fig. 543. — Plan de la machine verticale Ruston, Proctor et Cie.

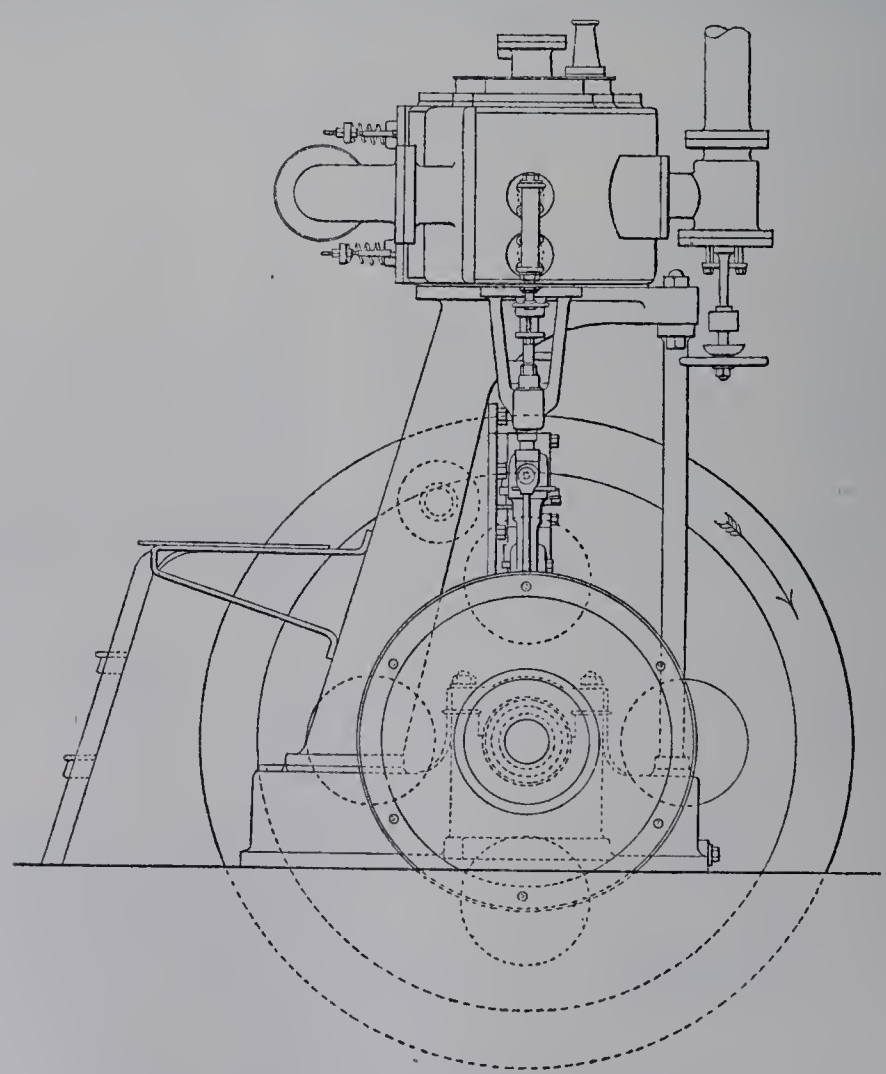


Fig. 544. — Élévation latérale

d'un régulateur calé sur l'arbre moteur. Au grand cylindre, la vapeur est distribuée par un tiroir plat.

Le moteur exposé par MM. Ransomes, Sims et Jefferies, d'Ipswich, est disposé pour tourner à 300 tours par minute, en développant une cinquantaine de chevaux dans la marche à condensation. Établi sur un socle robuste dont les paliers font partie, avec de larges surfaces frottantes et un équilibrage soigné des pièces à mouvement alternatif, il répond aux données que voici :

$$D_1 = 0^m191 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.1$$
$$D_2 = 0\ 305 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$
$$L = 0\ 203 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m03$$
$$N = 300$$

La distribution est à tiroirs cylindriques simples. Le tiroir du petit cylindre est gouverné par un régulateur-volant, calé sur l'une des extrémités de l'arbre et déterminant le calage de l'excentrique.

Tosi. — M. Franco Tosi est, lui aussi, constructeur de moteurs verticaux compacts, appropriés à la conduite des machines électriques. Il en expose deux, l'un de 600 à 800 chevaux, l'autre de 60.

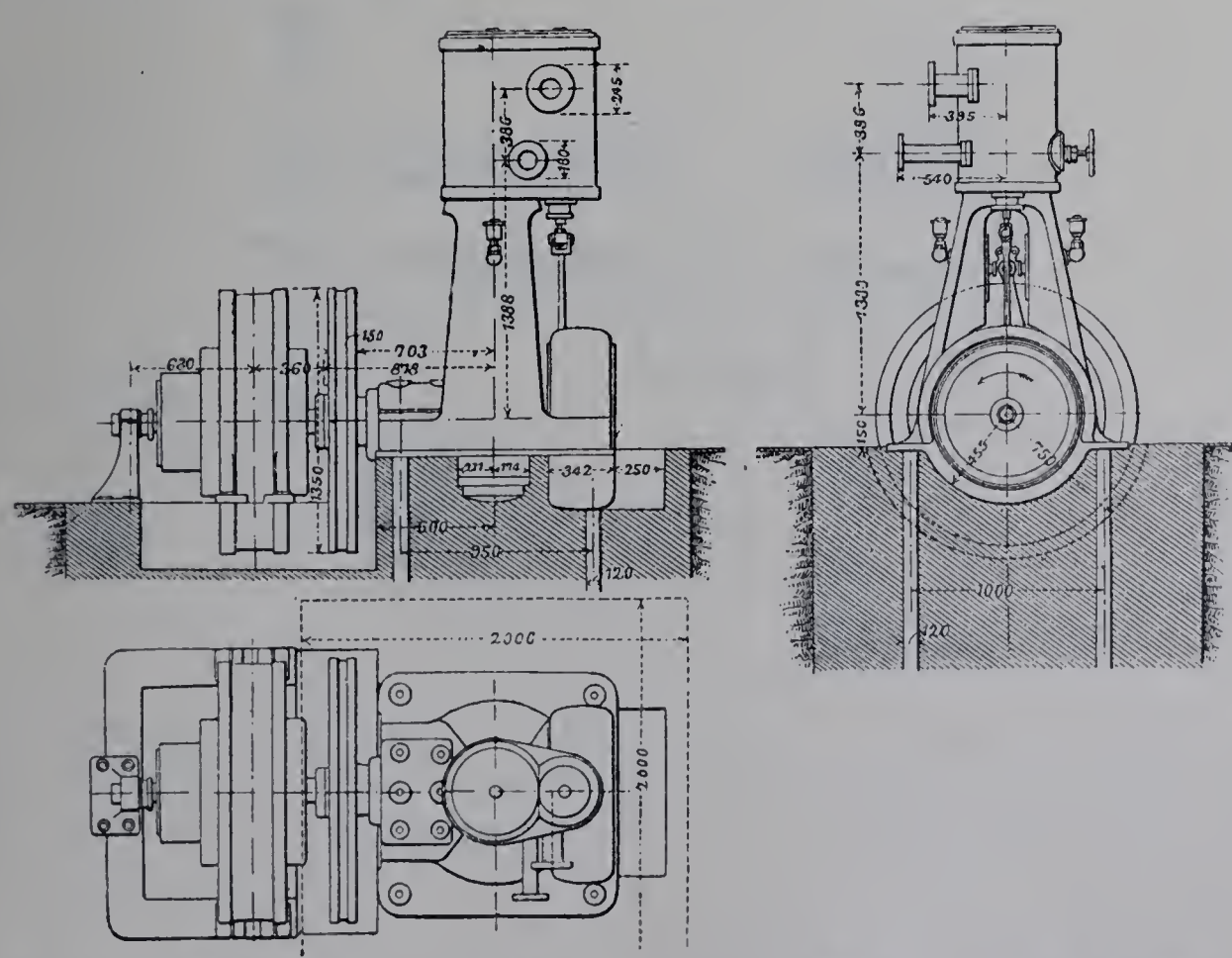


Fig. 545. — Machine de 60 chevaux à 325 tours par minute, de M. F. Tosi. — Plan et élévation.

Le moteur de 600 à 800 chevaux est à quadruple expansion et l'on trouvera plus loin les indications qui le concernent. Celui de 60 chevaux est à double expansion :

c'est ici le lieu de le décrire. Ses intéressantes dispositions sont indiquées par les figures 545 à 547.

Alimenté sous la pression de 9 kg : cm², il tourne à raison de 325 tours par minute.

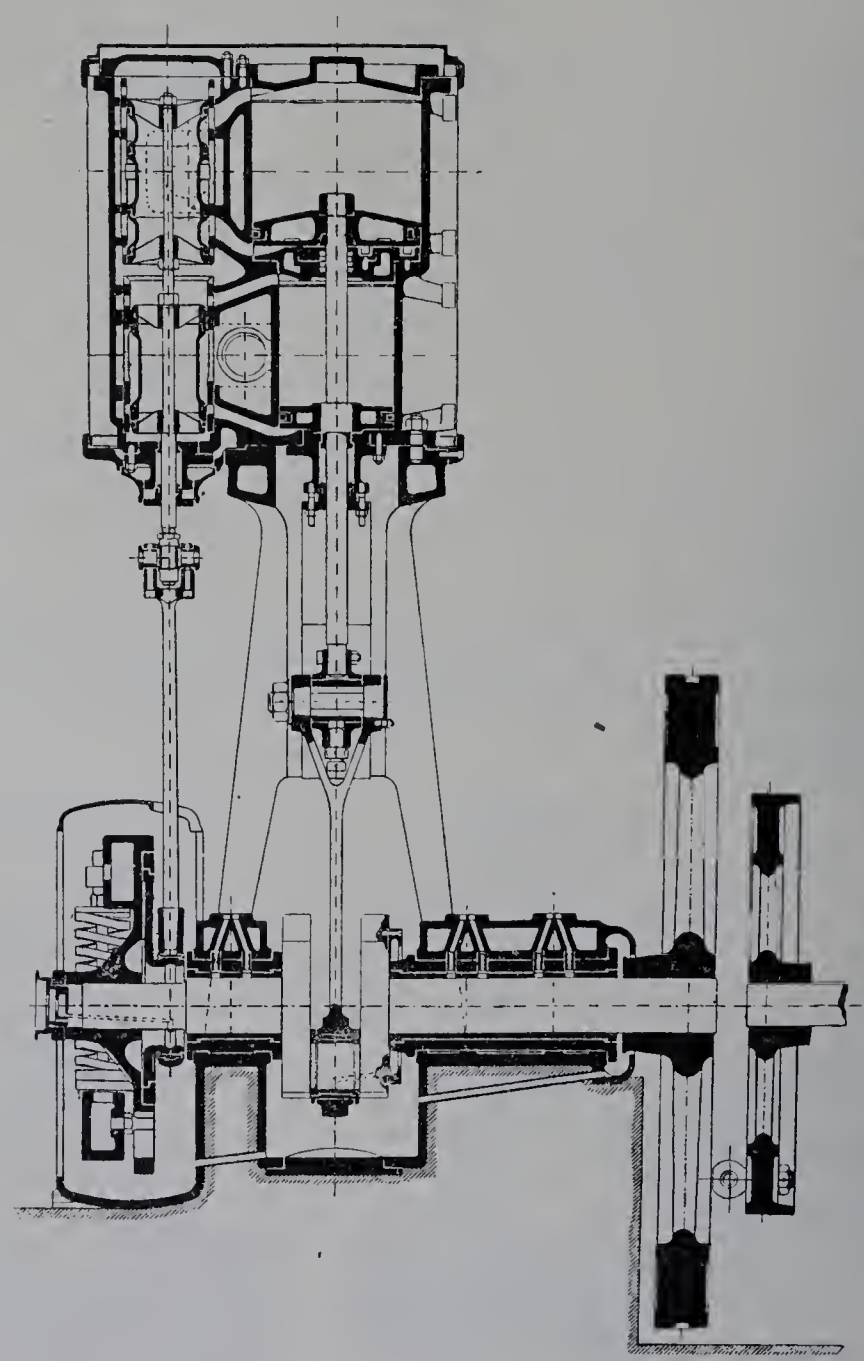


Fig. 546. — Coupe longitudinale.

A la différence de toutes les autres machines de la série que nous examinons, ses deux cylindres sont superposés. Aussi tient-il tout entier, avec son régulateur et son volant, dans un emplacement de 2 m² 30. Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m225 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.98$$

$$D_2 = 0\ 325 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.07$$

$$L = 0\ 220$$

$$N = 325 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m38$$

La vitesse moyenne des pistons reste modérée; leur accélération maximum atteint 1 27 m : s².

La douceur de la rotation est parfaite.

L'arbre-vilebrequin, terminé d'un bout par un volant de 1 m. 35 de diamètre (vitesse périphérique 23 m : s²) et de l'autre par un régulateur, tourne dans deux paliers à grandes surfaces frottantes, dont un particulièrement long du côté du volant. Le bâti, fondu d'une seule pièce, comprend les deux paliers, les cuvettes disposées sous la manivelle et sous les extrémités de l'arbre, deux montants symétriques formant crinoline et l'entablement supérieur. Sur cet entablement est boulonné l'ensemble des deux cylindres, dont toutes les parois latérales sont venues d'une seule pièce de fonte. Le grand cylindre est au-dessus du petit et lui est immédiatement superposé, sans lanterne intermédiaire; la séparation est faite par un diaphragme à deux toiles, pièce amovible qui sert à la fois de couvercle supérieur à l'un et de fond inférieur à l'autre, et qui porte en son centre un presse-étoupe pour le passage de la tige du piston supérieur. La mise en place ou le démontage des pistons, ainsi que du diaphragme, s'opère par le haut.

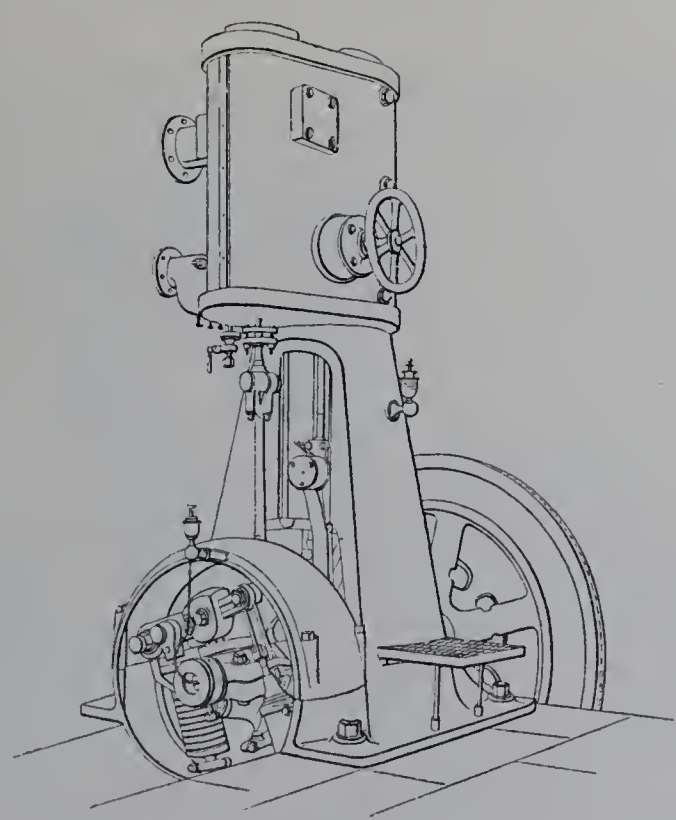


Fig. 547. — Vue perspective.

Les cylindres n'ont pas d'enveloppe de vapeur.

La distribution est donnée à chacun d'eux par un tiroir cylindrique simple. Les deux tiroirs sont superposés le long d'une même tige dont le mouvement est pris sur un excentrique à calage variable, dépendant du régulateur à force centrifuge, type volant, monté en bout d'arbre.

Bromley. — Avec la machine à cylindres juxtaposés qu'exposent MM. Bromley frères,

nous arrivons, pour une puissance de 60 chevaux, à une vitesse de rotation de 350 tours par minute. La vitesse moyenne des pistons n'est que de 2 mètres à raison de la forme trapue des cylindres; leur accélération maximum est de 114 m : s². Les manivelles sont décalées de 180 degrés. Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m252 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.7$$
$$D_2 = 0\ 420 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.8$$
$$L = 0\ 178$$
$$N = 350 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m$$

Comme dans les machines précédentes, la distribution est faite par des tiroirs cylindriques et celui de la haute pression a son excentrique sous la dépendance d'un régulateur volant.

Thune. — Enfin, la série qui nous occupe est clôturée d'une manière très intéressante par le moteur du groupe électrogène de 55 chevaux exposé par M. A. L. Thune

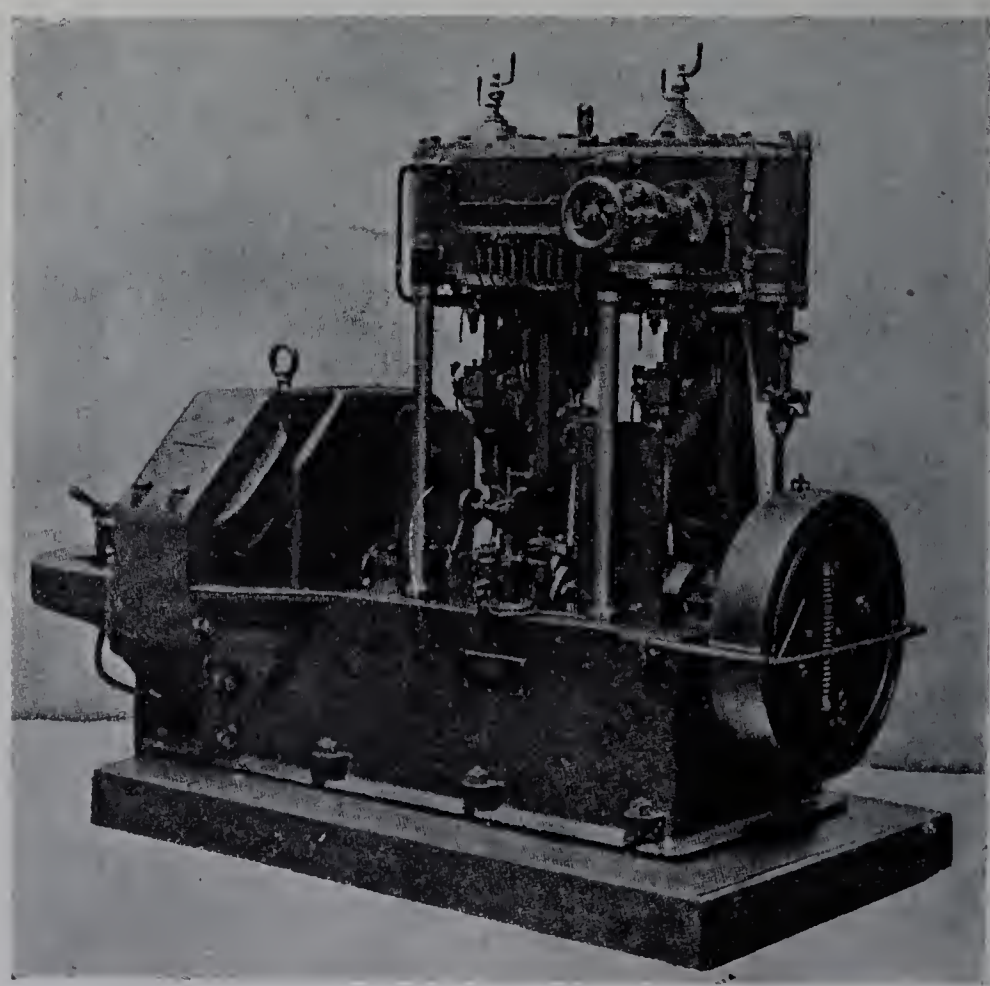


Fig. 548. — Machine compound à grande vitesse, de M. Thune.

(fig. 548 et 549). La vitesse angulaire est, comme pour la machine précédente, de 350 tours par minute; le fini de la construction et la douceur de la marche ne laissent rien à désirer.

Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m20 \qquad \frac{L}{D_1} = 1$$
$$D_2 = 0\ 30 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.25$$
$$L = 0\ 20 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m33$$
$$N = 350$$

L'accélération maximum des pistons est de 134 m : s².

Dans cette machine compacte, dont les pistons sont rendus légers par la forme en chapeau chinois, le décalage des manivelles a été conservé à 90 degrés. Les deux manivelles sont encadrées par quatre paliers qui font partie d'un socle particulièrement rigide, commun au moteur et à la dynamo. La distribution est faite au petit cylindre par un tiroir cylindrique, que commande un excentrique disposé sur l'une des extrémités de l'arbre. Cet excentrique est accolé à un volant-régulateur du genre Armington, qui en gouverne le calage et la course. Quant au tiroir du cylindre de basse pression, il est placé, non de l'autre côté de l'ensemble, mais entre les deux cylindres : l'excentrique qui le commande est calé sur l'arbre dans l'intervalle des deux paliers médians et la boîte de distribution se confond avec le réservoir intermédiaire qui réunit les deux cylindres, en ne formant avec eux qu'un même bloc.

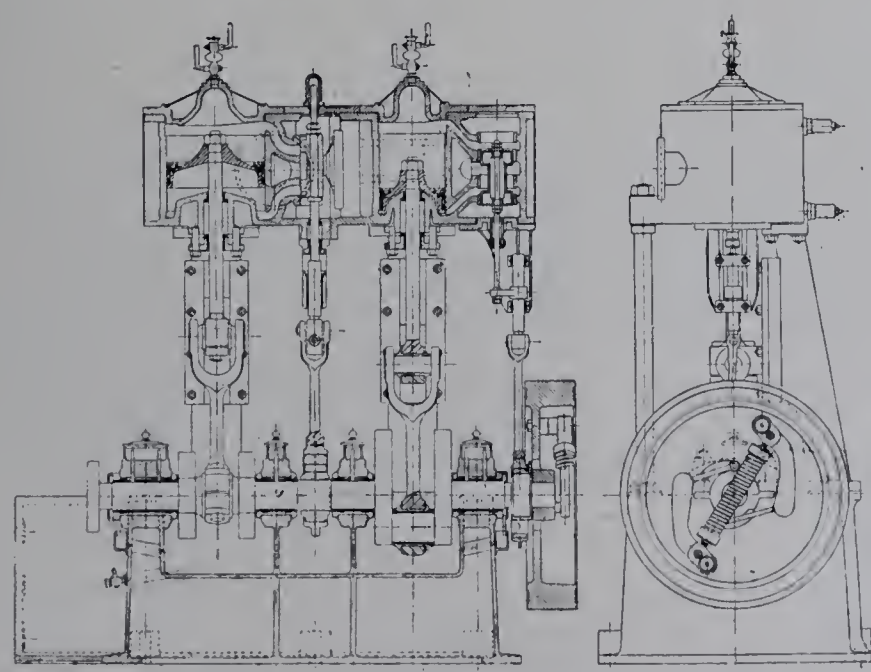


Fig. 549. — Coupe longitudinale et élévation latérale.

Machines à graissage sous pression. — L'une des conditions du succès des moteurs à grande vitesse est la perfection du graissage. MM. Delaunay-Belleville et Cie ont joint à leur importante fabrication de générateurs la construction de machines verticales, rappelant les moteurs de navigation par plusieurs de leurs dispositions générales, mais se distinguant par un système de lubrification sous pression qui favorise la rapidité de la rotation et qui élève d'une manière exceptionnelle le rendement mécanique. Ils établissent ainsi des moteurs cuirassés, peu encombrants, dont le type se prête notam-

ment aux petites et moyennes puissances; c'est ainsi qu'un groupe électrogène formé d'une dynamo Labour et d'un moteur Belleville de 40 chevaux figure à la Classe 118; mais, dans la Classe 19, l'exemplaire exposé par MM. Delaunay-Belleville est d'une tout autre importance : c'est un moteur de 1,750 chevaux, à triple expansion : nous en donnerons la description plus loin.

Des moteurs du même genre sont construits par MM. Boulte, Larbodière et Cie, d'Aubervilliers (Seine). Ces constructeurs en exposent un de 75 chevaux à double expansion, qui fait tourner une dynamo de 50 kilowatts : c'est l'excitatrice de l'alternateur Labour actionné par la machine compound-tandem de MM. Dujardin et Cie. Ce moteur à deux cylindres superposés, alimenté sous la pression de 10 kg : cm², tourne à 400 tours par minute. Ses dimensions sont :

$$D_1 = 0^m188 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.2$$
$$D_2 = 0\ 300 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.6$$
$$L = 0\ 220$$
$$N = 400 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m8$$

L'accélération maximum des pistons atteint 193 m : s².

Machine Sulzer à tiroirs tournants. — En ce qui touche le jeu du mécanisme de distribution, les tiroirs tournants, animés d'une rotation uniforme, se prêtent à des vitesses angulaires aussi grandes qu'on veut. Leur étanchéité n'est pas facile à obtenir ni leur graissage à assurer : ce sont des organes qui réclament une absolue perfection de construction. MM. Sulzer frères établissent, dans ce système, des moteurs verticaux rapides, compacts et soigneusement équilibrés.

Celui qu'ils exposent (fig. 550 à 557) développe normalement 400 chevaux environ à 250 tours par minute. Il comprend deux machines jumelles accolées en un même ensemble rigide et agissant sur deux manivelles décalées de 180 degrés. Chaque machine est à double expansion et a ses deux cylindres superposés, le petit au-dessus du grand. Les tiroirs rotatifs sont portés par un axe vertical unique, qui prend son mouvement sur l'arbre coudé par un engrenage d'angle; ce système de distribution est logé entre les deux lignes de cylindres et chaque tiroir sert à la fois à la machine de droite et à celle de gauche. Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m28 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.43$$
$$D_2 = 0\ 45$$
$$L = 0\ 40 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.58$$
$$N = 250$$
$$\frac{2LN}{60} = 3^m33$$

L'accélération maximum atteint par suite 137 m : s².

La pression de vapeur étant de 10 kg : cm², la puissance indiquée est de 385 che-

vaux pour une admission de 25 pour 100 au petit cylindre; elle serait de 515 chevaux à 45 pour 100 d'admission. La machine actionne directement un alternateur monophasé des Ateliers d'Oerlikon, ayant une puissance apparente de 350 kilowolts-ampères avec un facteur de puissance de 0,8.

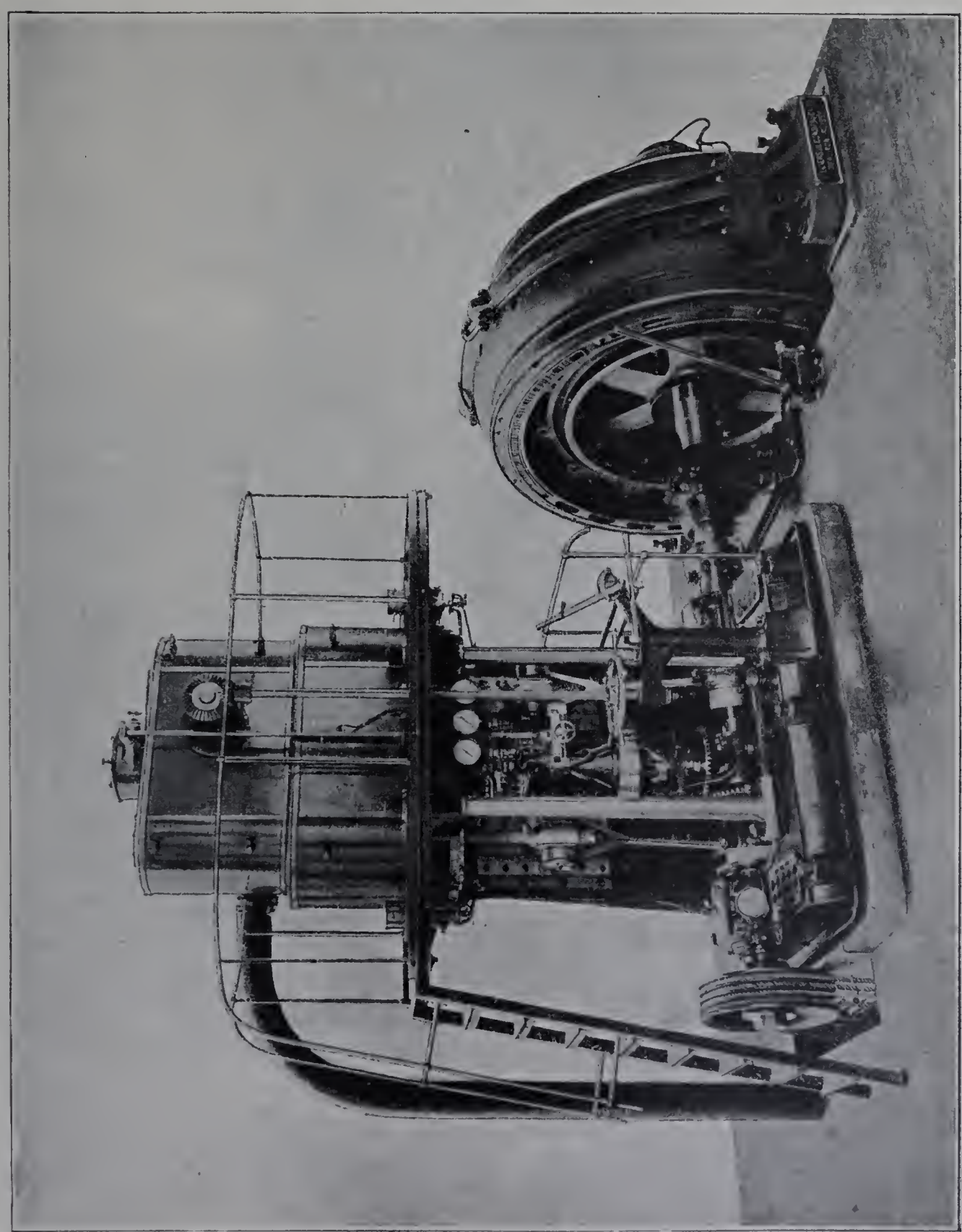


Fig. 550. — Machine de 400 chevaux à 250 tours par minute, avec distribution par tiroirs tournants, de MM. Sulzer, actionnant un alternateur d'Œrlikon. — Ensemble du groupe électrogène.

L'arbre coudé tourne dans trois paliers qui font partie intégrante du socle. Il se termine d'un côté par le plateau d'accouplement sur lequel est assemblé en prolongement l'arbre de l'alternateur; de l'autre côté est disposée une poulie à gorges sur

laquelle est pris, par câbles sans fin, le mouvement de la pompe à air du condenseur. Les montants postérieurs du bâti, portant les glissières plates, sont eux-mêmes venus de fonte avec le socle.

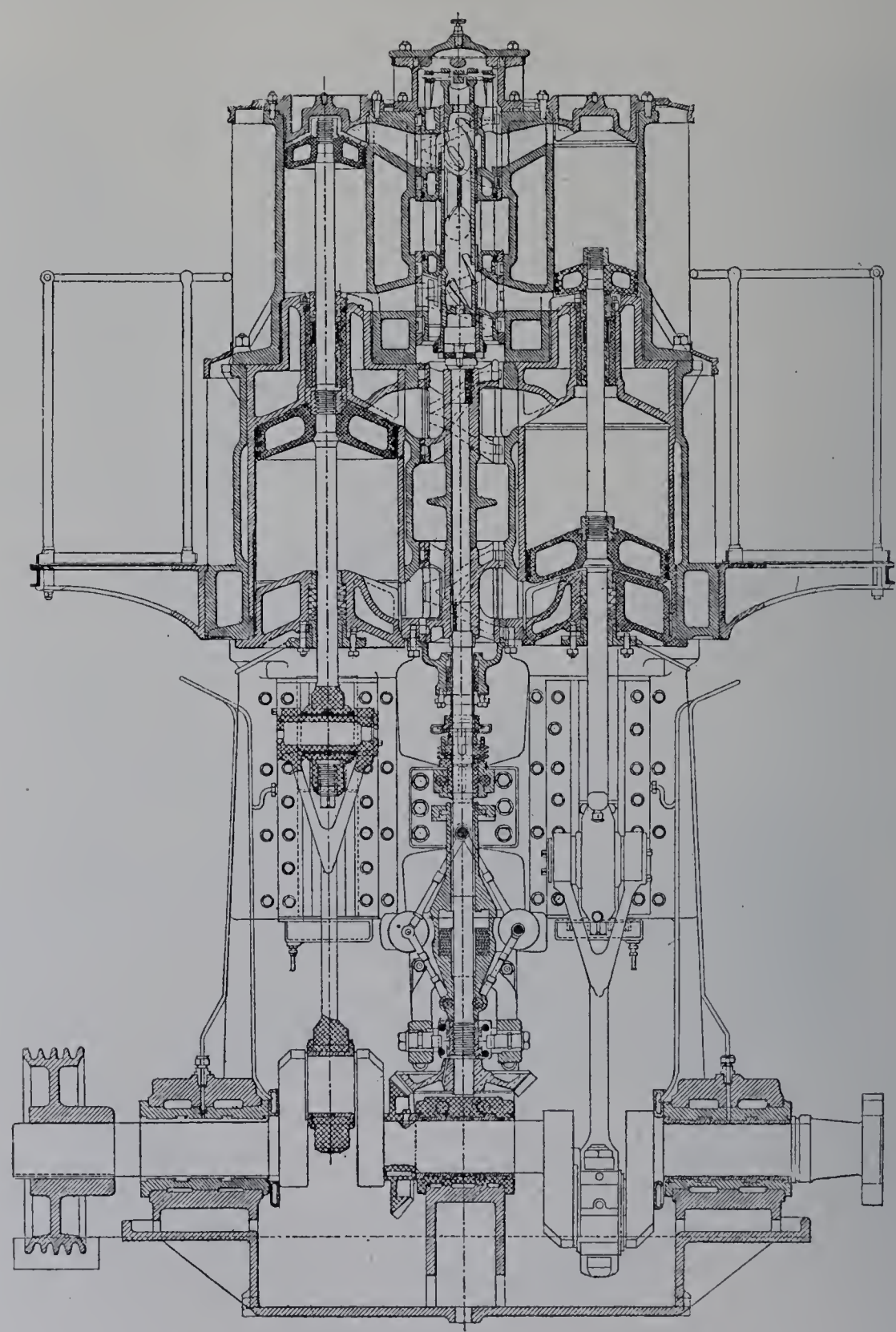


Fig. 551. — Machine de 400 chevaux à 250 tours par minute, de MM. Sulzer frères. Coupe longitudinale.

Le tiroir de distribution des petits cylindres, dont la disposition a déjà été mise sous les yeux du lecteur (fig. 222 à 224) est un manchon rotatif à double paroi; la capacité centrale est en communication avec l'arrivée de vapeur, l'intervalle annulaire avec l'échappement. Vers chacune des extrémités, c'est-à-dire d'une part au droit des

lumières du haut et, d'autre part, au droit de celles du bas, la paroi extérieure est percée d'une fenêtre rectangulaire, ayant même hauteur que les lumières et offrant, dans le sens circonférentiel, l'étendue convenable pour assurer à l'échappement la durée voulue. Pendant que cette fenêtre défile, soit devant la lumière du cylindre de droite, soit devant celle de gauche (les interventions relatives aux deux cylindres sont naturellement symétriques à 180 degrés d'intervalle), il y a communication de la lumière avec l'espace annulaire compris entre les deux parois cylindriques du tiroir, c'est-à-dire qu'il y a échappement.

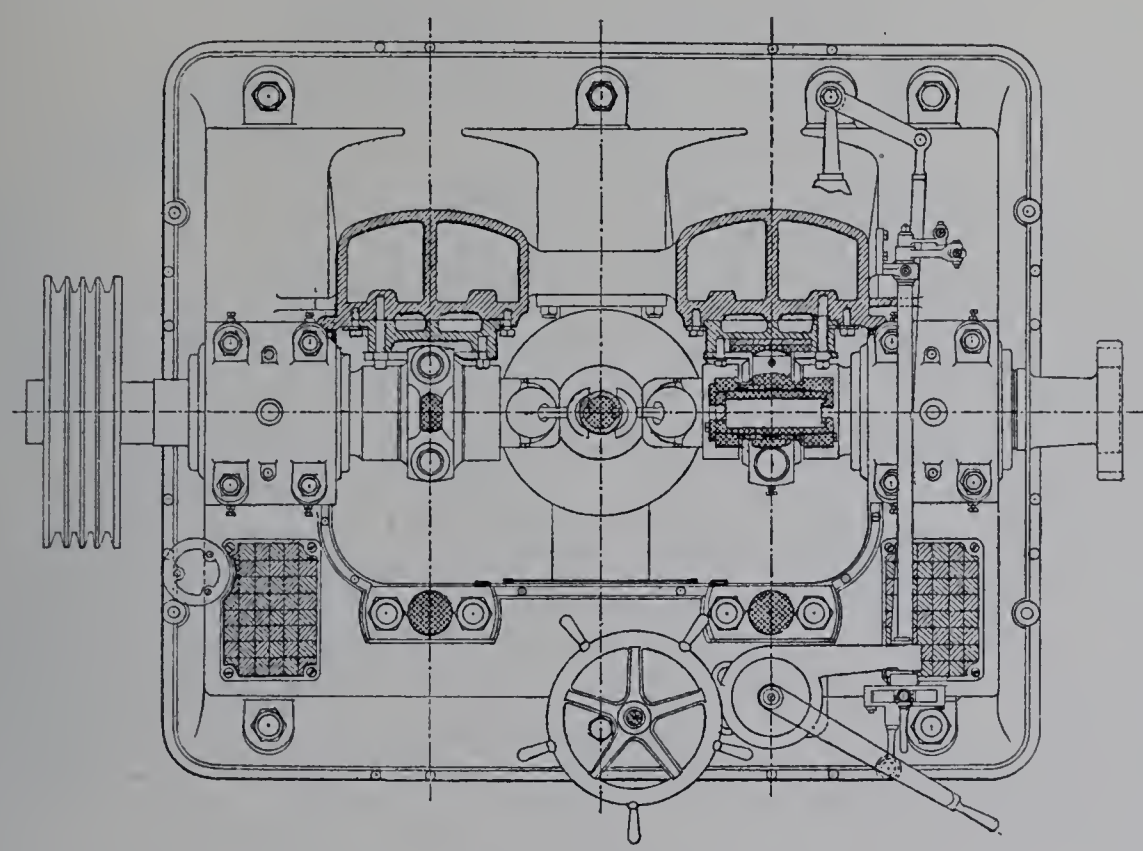


Fig. 552. — Plan.

Pour l'admission, le principe est le même; seulement la fenêtre de communication, nécessairement percée comme l'autre dans la paroi extérieure du tiroir tournant, doit mettre la lumière du cylindre en relation, non avec l'espace annulaire, mais avec la capacité axiale. Ceci est une simple affaire de cloisonnement de la pièce tournante; la fenêtre va de la capacité axiale à la paroi extérieure par une embrasure qui traverse l'espace annulaire.

Si l'on n'avait pas à faire varier la durée de l'admission, les dispositions du tiroir seraient simplement celles que nous venons de dire. Mais la machine comporte un degré de détente variable. A cet effet, à la hauteur de chacun des systèmes de fenêtres distributrices, la capacité axiale est légèrement élargie et nous avons à y distinguer deux parties, un vide axial proprement dit et un espace annulaire entourant ce vide axial. En d'autres termes, les sections transversales du tiroir, faites à hauteur des lumières, montrent trois capacités concentriques : la capacité centrale, en communication permanente avec l'arrivée de vapeur; une capacité annulaire intérieure, à partir de laquelle

la vapeur vive passe dans l'un ou l'autre des cylindres, alternativement, par la fenêtre à embrasure; enfin la capacité annulaire périphérique, où la vapeur d'échappement revient de chaque cylindre, à point nommé, par la fenêtre correspondante.

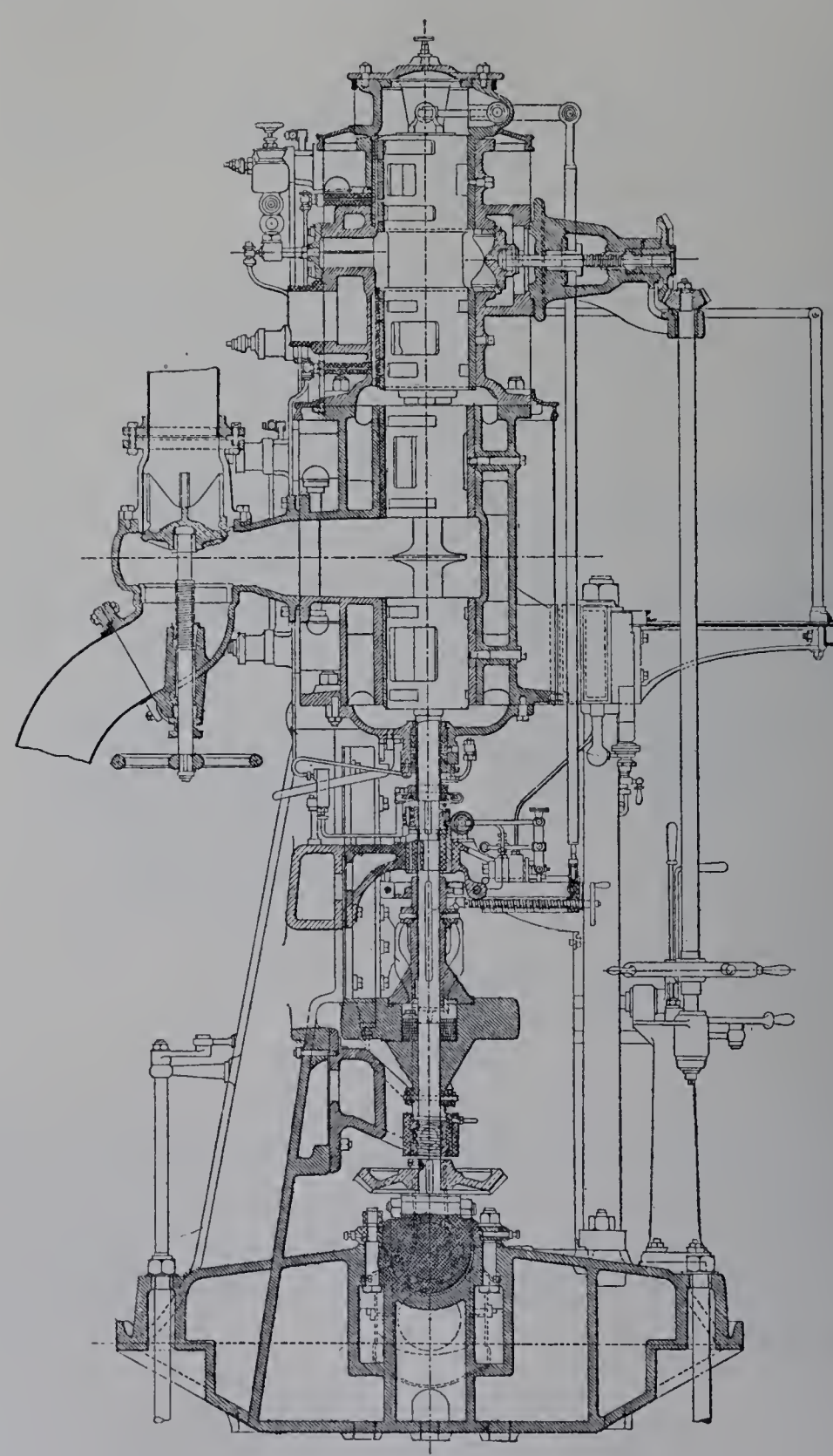


Fig. 553. — Coupe transversale par l'axe des tiroirs tournants.

Cela posé, la communication entre la capacité centrale et ce que nous venons d'appeler la capacité annulaire intérieure n'est pas permanente. Elle a lieu tant que doit durer l'admission dans l'un ou l'autre des cylindres; mais elle se ferme plus ou moins tôt à l'instant où cette admission doit cesser. On reconnaît ici un principe tout à fait analogue

à celui des systèmes de détente par tiroirs superposés. Voici comment est obtenu cet arrêt périodique de l'arrivée de vapeur.

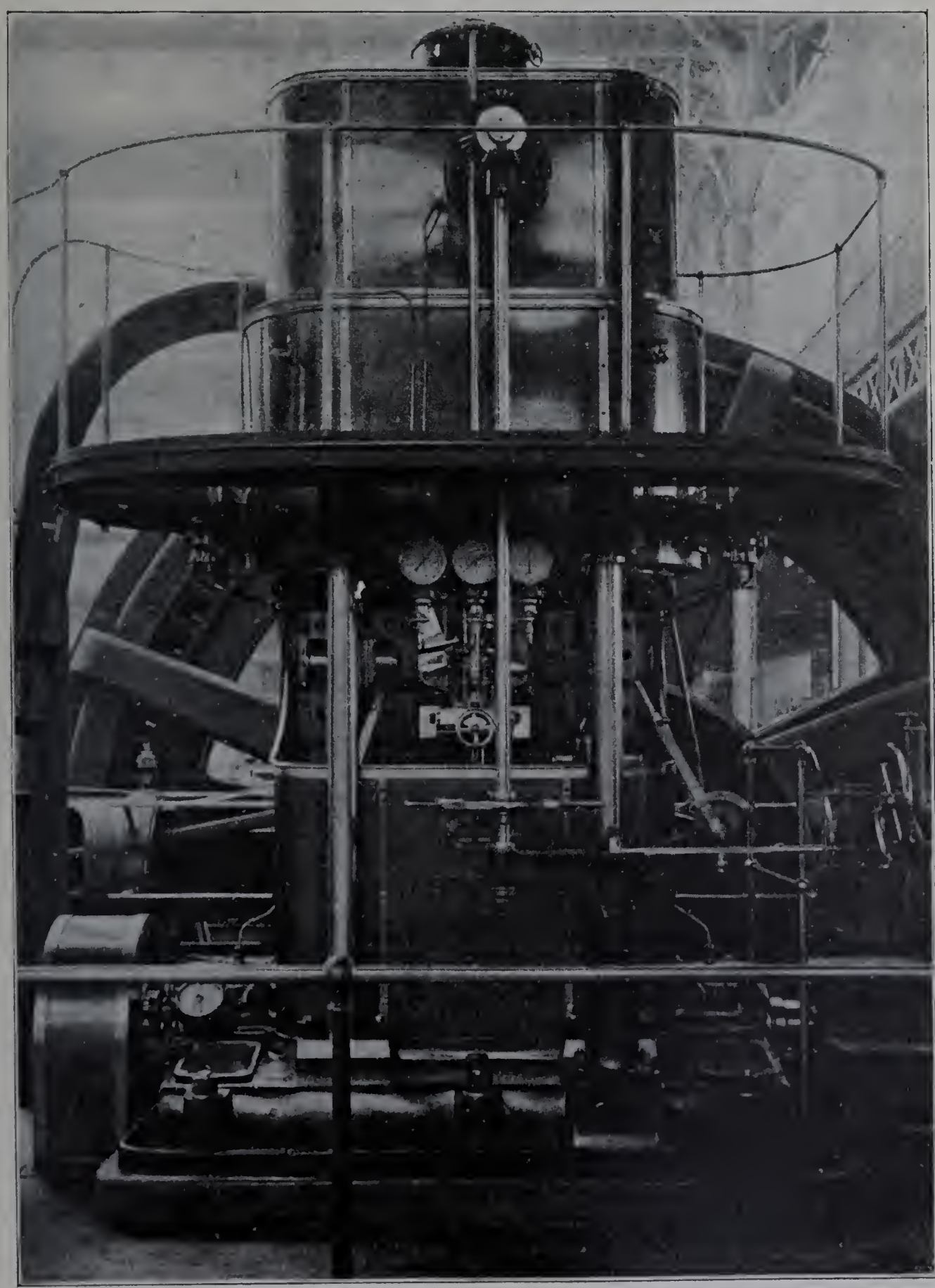


Fig. 554. — Machine Sulzer à tiroirs tournants. — Vue de face.

La paroi cylindrique qui sépare la capacité annulaire intérieure du vide central est percée de deux fenêtres hélicoïdales, angulairement distantes de 180 degrés. Dans le

vide central est suspendu un tube, autour duquel tourne le manchon. Le tube est percé lui-même de fenêtres hélicoïdales : deux à la suite l'une de l'autre, d'un même côté d'un plan diamétral, et deux symétriques des premières par rapport à l'axe du système.

La fig. 224 donne le développement, sur un plan, de la moitié de la surface cylindrique de contact entre le système tournant et le tube. On voit l'une des deux fenêtres de la paroi intérieure tournante et l'un des deux systèmes de fenêtres du tube. Ce système de fenêtres a été représenté dans deux situations différentes, correspondant aux deux situations extrêmes du régulateur. Le sens du mouvement de la fenêtre est indiqué par la flèche et la position représentée de cette fenêtre est celle pour laquelle le piston est à fond de course. On voit que l'admission est possible dès cet instant initial et même avant (en vue de l'avance à l'admission) quelle que soit la cote d'élévation des fenêtres du tube; mais que, plus cette cote est haute, plus tôt cette admission se trouvera coupée.

La suspension du tube est rattachée, par un jeu de leviers et une tringle verticale, au manchon d'un régulateur Porter ayant pour axe l'arbre même des tiroirs de distribution.

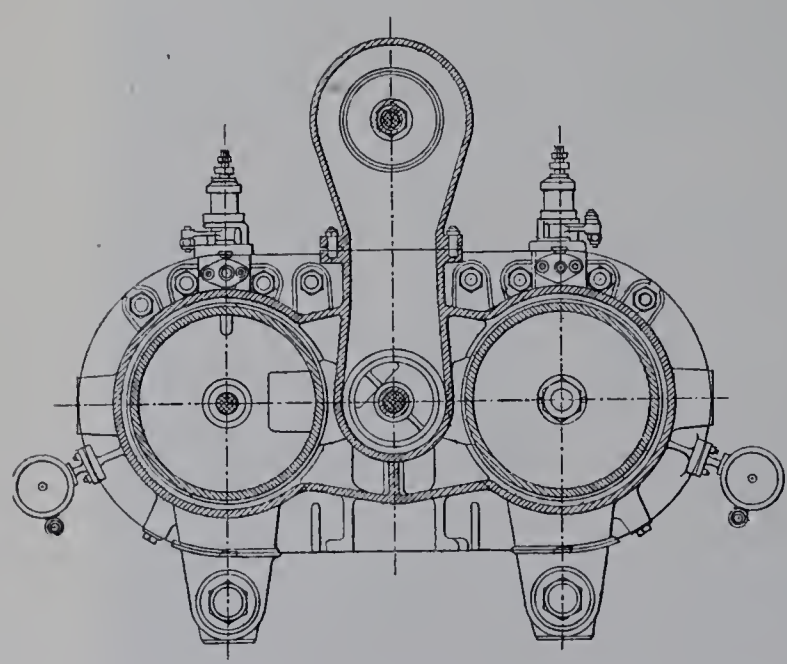


Fig. 555. — Coupe horizontale par les cylindres de haute pression.

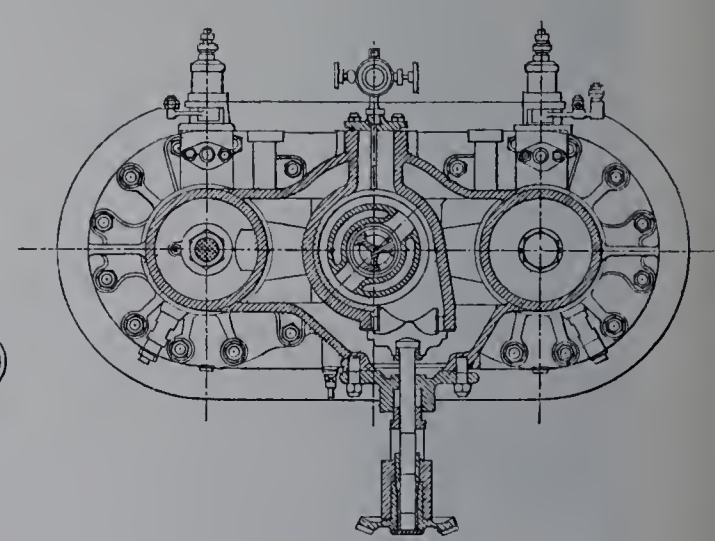


Fig. 556. — Coupe horizontale par les cylindres de basse pression.

Nous n'avons pas encore dit comment le vide central est mis en relation permanente avec l'arrivée de vapeur. Dans sa partie médiane, c'est-à-dire à mi-hauteur des cylindres, le tiroir conserve sa forme générale de cylindre à double paroi; mais deux fenêtres à embrasure traversent l'espace annulaire et établissent une communication permanente entre l'extérieur et le vide central. Or, dans cette partie, le tiroir tourne dans une chambre où débouche le tuyau adducteur de vapeur.

Quant à l'espace annulaire, il débouche librement vers le bas dans la capacité complexe formant réservoir intermédiaire, où la vapeur est puisée par le tiroir de distribution des deux grands cylindres.

Ce second tiroir de distribution est plus simple que le premier, n'ayant pas à réaliser d'admission variable. Il se compose à chacune de ses extrémités, c'est-à-dire à hauteur

des lumières du haut et à hauteur de celles du bas, d'un tambour tournant séparé en deux capacités par une cloison oblique; la vapeur du réservoir intermédiaire pénètre

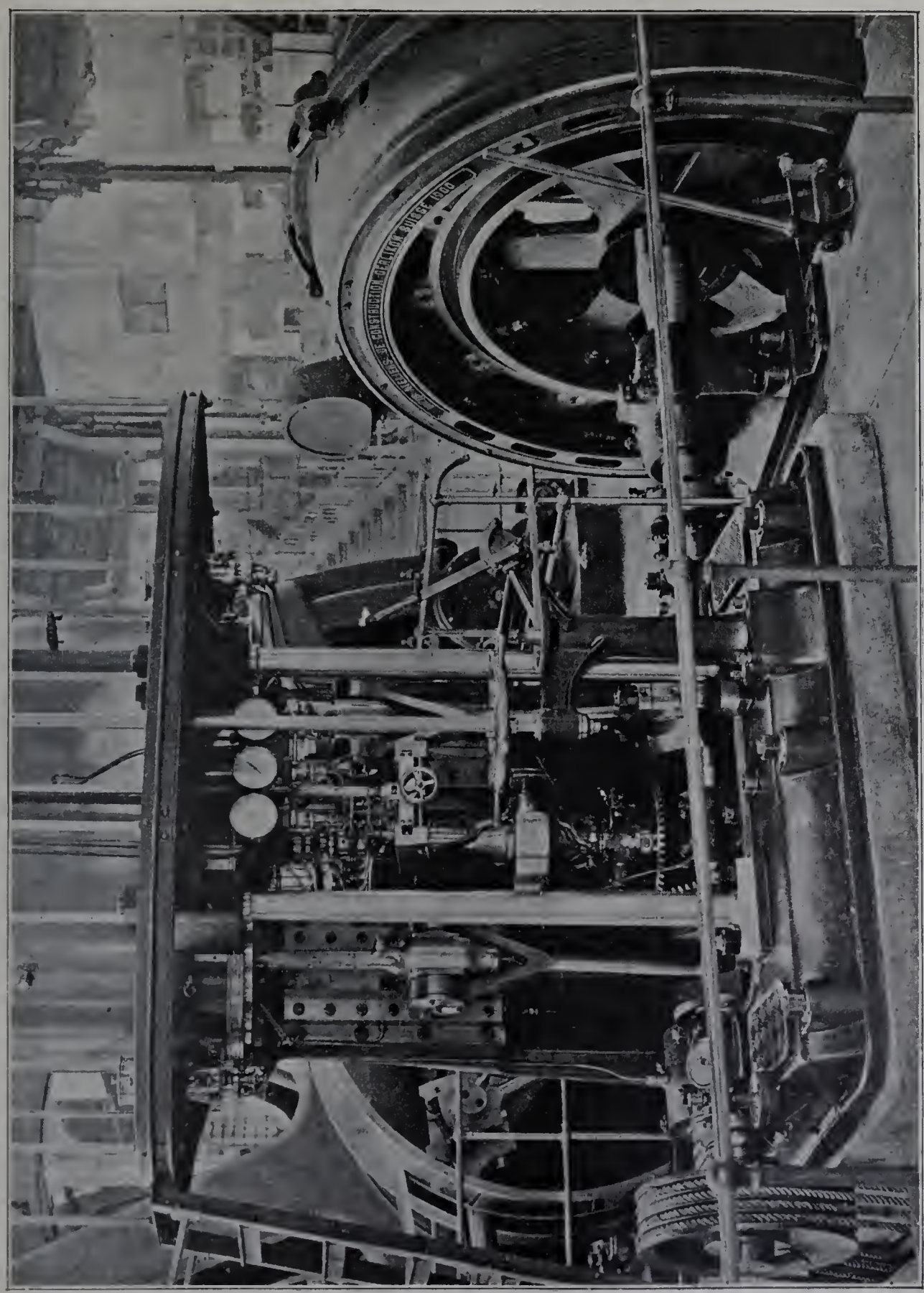


Fig. 557. — Machine Sulzer à tiroirs tournants. — Détails de la partie inférieure.

par le haut dans le tambour du haut, par le bas dans celui du bas, et la capacité correspondante est percée, sur sa paroi latérale cylindrique, de la fenêtre donnant l'admission. La fenêtre servant à l'échappement est située de l'autre côté de la cloison oblique et, par suite, la vapeur qui a travaillé se trouve dirigée vers le bas du tambour supérieur,

vers le haut de l'autre tambour : elle est reçue dans une chambre centrale fixe, d'où part la conduite allant soit au condenseur, soit à l'atmosphère.

Machines Mertz. — D'intéressantes dispositions cinématiques et des arrangements ingénieux de mécanisme, ayant pour objet d'équilibrer les effets d'inertie des pièces à mouvement alternatif, distinguent la construction de M. Émile Mertz, de Bâle. Cet ingénieur a créé des types variés de moteurs à grande vitesse, les uns à double, les autres à simple effet.

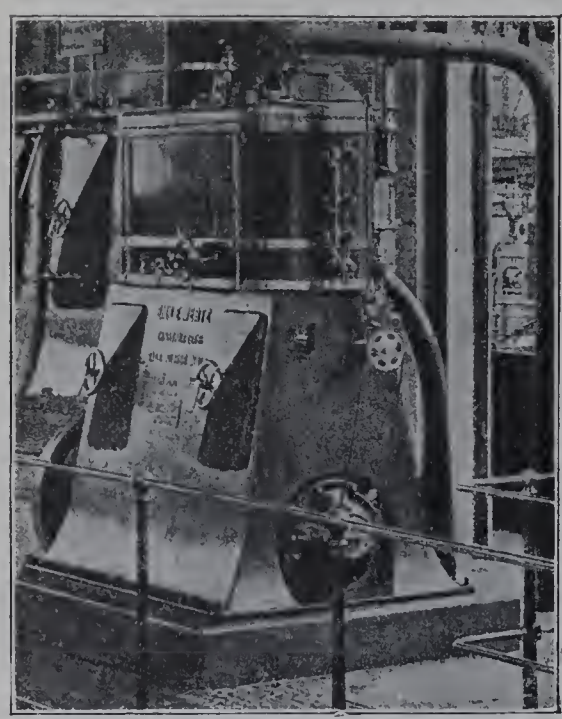


Fig. 558. — Machine à quadruple effet et double expansion, de M. Émile Mertz.

Les machines à double effet contiennent, comme nous allons l'expliquer, deux pistons par cylindre, de sorte qu'elles peuvent être appelées à quadruple effet : c'est ainsi que M. Mertz les désigne. Deux unités de ce genre sont exposées : l'une est à double, l'autre à triple expansion. C'est de la première, dont le type est indiqué par les fig. 558 à 561, que nous avons à nous occuper tout d'abord : les indications générales que nous allons donner peuvent d'ailleurs s'appliquer à l'une et à l'autre, car leur construction repose sur les mêmes principes.

Les cylindres sont alignés au-dessus d'un arbre coudé dont les manivelles sont doubles : chacune en comprend deux, *a* et *c* (fig. 559 et 560) décalées de 180 degrés l'une par rapport à l'autre.

Chaque cylindre renferme deux pistons *b* et *d*, qui se meuvent en sens inverse et actionnent les deux manivelles opposées.

Le piston supérieur *b* est emmanché, à la manière ordinaire, au sommet d'une tige pleine. Le piston inférieur *d* est assujetti à l'extrémité supérieure d'une tige creuse qui forme fourreau autour de la première. La tige pleine se termine, selon le mode habituel, par une crosse guidée sur une glissière plate et par une bielle aboutissant au tourillon central *a* du vilebrequin; la tige creuse a sa tête guidée sur une seconde glissière plate disposée au-dessus de la première et porte une traverse aux extrémités de laquelle sont attachées deux bielles qui travaillent parallèlement, de part et d'autre de la bielle unique du piston supérieur; deux manivelles concordantes, opposées à la manivelle centrale qu'elles encadrent, reçoivent le travail de ces bielles jumelles. Une parfaite égalité d'action leur est assurée par la disposition de la traverse, articulée à rotule sur la tige-fourreau de manière à former palonnier.

Chaque piston est à double effet : l'admission et l'exhaustion de la vapeur se font donc, d'une part au milieu du cylindre, d'autre part et simultanément à ses deux bouts.

L'étanchéité est assurée par deux presse-étoupe placés, l'un dans le piston inférieur

à la pénétration de la tige pleine qui porte le piston supérieur, l'autre à la sortie de la tige creuse, sous le fond inférieur du cylindre. En vue de faciliter la lubrification du fourreau, la tige pleine est rainurée transversalement.

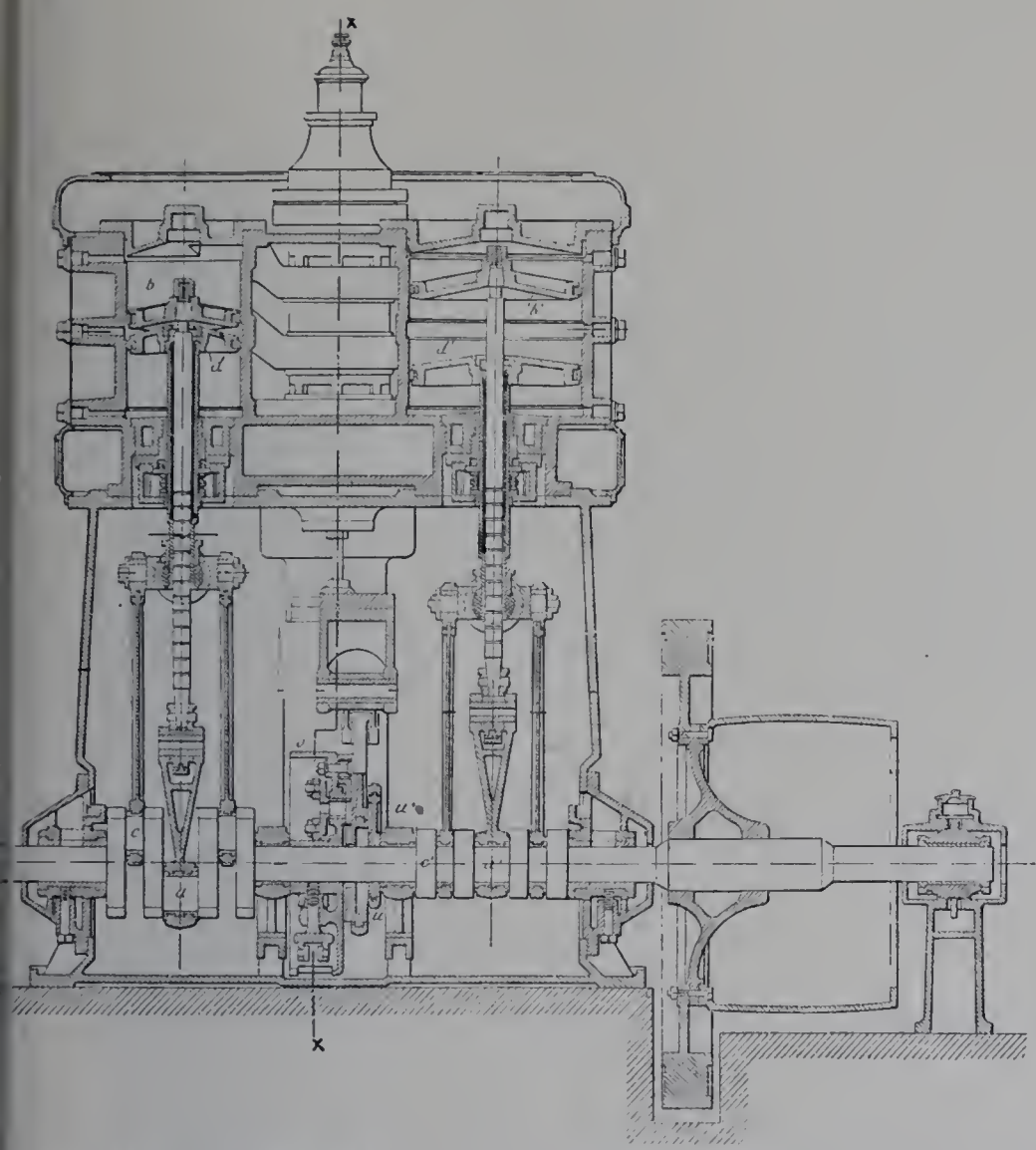


Fig. 559. — Machine Mertz à quadruple effet et double expansion. Coupe longitudinale.

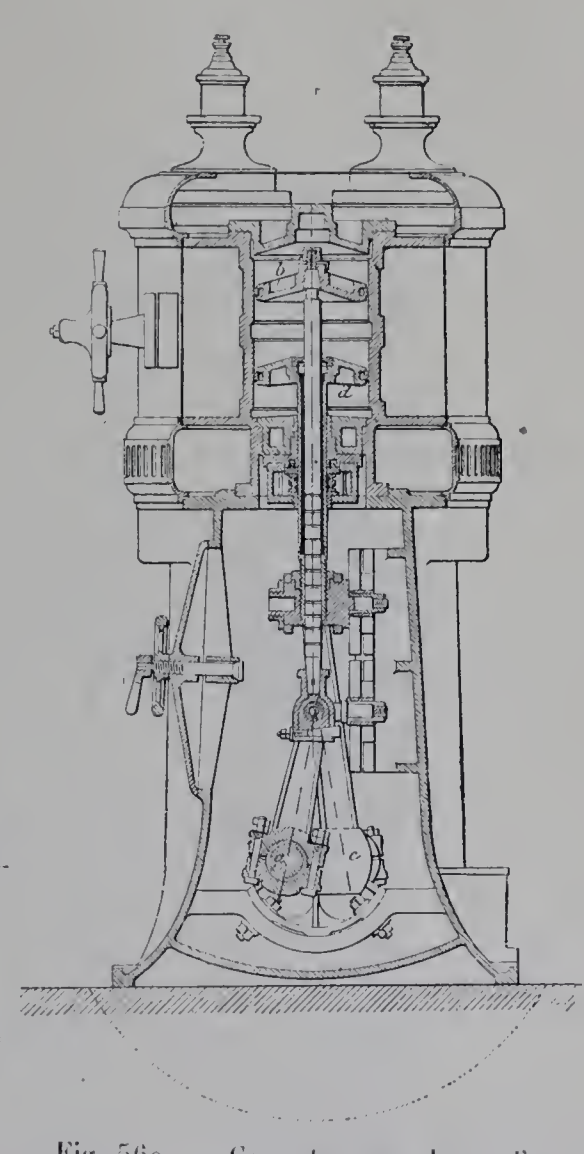


Fig. 560. — Coupe transversale par l'axe du cylindre de haute pression.

Dans ce système, il suffit que les deux ensembles de pièces à mouvement rectiligne alternatif, qui se meuvent en sens inverse suivant l'axe de chaque cylindre, aient des masses égales, pour que le bâti se trouve soustrait à toute action provenant de l'inertie de ces pièces. Le système tournant étant, d'autre part, convenablement équilibré, le bâti n'a presque exclusivement à supporter que le couple de renversement antagoniste du couple moteur. Pour démontrer l'annulation pratiquement complète des trépidations résultant de l'inertie, M. Mertz présente cette expérience : il fait tourner le moteur après avoir enlevé tous les boulons reliant la semelle de base au massif de fondation.

A égalité de dimensions de cylindre et de travail par tour, les pistons doubles n'ont à faire que la moitié du chemin d'un piston unique et leur vitesse est par suite moitié moindre pour une vitesse angulaire donnée.

La machine développe 120 chevaux à la vitesse considérable de 520 tours.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 29 \qquad \frac{L + L'}{D_1} = 0.8$$
$$D_2 = 0\ 44 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.3$$
$$L = L' = 0\ 12 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 08$$
$$N = 520$$

La valeur maximum de l'accélération des pistons atteint 178 m : s².

La distribution est faite par tiroirs cylindriques. Au cylindre n° 1, la détente est variable suivant le système Rider, au moyen de deux tiroirs concentriques; on a imité, pour la commande de ces deux tiroirs, le système employé pour les pistons, c'est-à-dire que les deux tiges sont concentriques, l'une pleine et l'autre creuse. L'orientation du tiroir de détente est placée sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge, installé derrière la machine et recevant le mouvement d'une chaîne sans fin. Au grand cylindre, le tiroir est simple et la détente fixe (fig. 561). Il va sans dire d'ailleurs que chacun de ces tiroirs est disposé de manière à jouer simultanément sur trois couronnes de lumières.

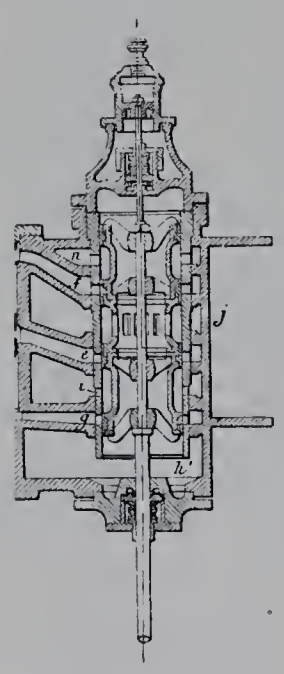


Fig. 561. — Coupe d'un tiroir cylindrique simple.

Le bâti est une boîte close, formant *carter* et contenant un bain d'huile, ce qui assure le graissage extérieur de la machine. Le graissage intérieur (cylindres et boîtes à tiroir) est obtenu au moyen d'une pompe.

Triple expansion. — La triple expansion, en honneur à bord des navires, fournit aux constructeurs de machines fixes des solutions intéressantes dans l'ordre des groupes verticaux compacts, à grande vitesse, offrant en somme les mêmes caractères généraux que les appareils de navigation. La vapeur est admise à ces machines sous des pressions initiales de 10 à 15 kilogrammes par centimètre carré.

Machine de 500 chevaux de la Société d'Augsbourg et de Nuremberg. — Par ses proportions et son mode de distribution, c'est à cette catégorie que se rattache le moteur à triple expansion d'un groupe électrogène construit, quant à la partie mécanique, par les Ateliers réunis d'Augsbourg et de Nuremberg et destiné à la station centrale de Saint-Pétersbourg. Constitué, de même que celui de 2,000 chevaux, par trois cylindres verticaux juxtaposés au-dessus d'un arbre coudé dont les manivelles sont décalées de 120°, ce moteur est muni d'un double tiroir cylindrique (système Rider) au cylindre de haute pression et de tiroirs plans aux deux autres cylindres. Il est associé à un alternateur Heyland à 36 pôles, destiné à fournir du courant alternatif simple à la fréquence de 42,5 périodes par seconde; sa vitesse angulaire ne doit donc pas dépasser 142 tours par minute.

En voici les données :

$$D_1 = 0^m450 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.2$$
$$D_2 = 0\ 715 \qquad \frac{L}{D_2} = 0.8$$
$$D_3 = 1\ 060 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.5} = \frac{D_3^2}{5.6}$$
$$L = 0\ 550 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m6$$
$$N = 142$$

Sa puissance, avec une pression initiale de 11 kilogrammes par centimètre carré, est de 500 chevaux indiqués. L'alternateur, construit par la Société « Électricité et Hydraulique » de Charleroi, est établi pour fournir 175 ampères sous 2,000 volts avec un facteur de puissance voisin de l'unité, de sorte que la puissance vraie de cet appareil électrique atteint à peu près 350 kilowatts.

L'arbre à trois manivelles se termine, du côté de l'alternateur, par un plateau d'accouplement; l'inducteur-volant, de 3 mètres de diamètre et du poids de 13 tonnes, est monté sur un arbre qui fait suite au premier et que deux paliers soutiennent de part et d'autre. L'excitatrice de 9 kilowatts est montée en porte-à-faux sur l'extrémité libre de cet arbre.

Société Escher-Wyss. — Le moteur vertical de 300 chevaux effectifs, établi par la Société Escher Wyss, est construit en vue d'une pression initiale de 12 ou 13 kilogr. par centimètre carré. Il forme groupe compact avec un alternateur diphasé construit par la Compagnie *l'Industrie électrique,* de Genève. Sa vitesse est de 175 tours par minute : à cette allure, la puissance vraie de l'alternateur serait de 230 kilowatts environ.

La machine, dont la fig. 562 montre l'aspect, comprend trois cylindres juxtaposés au-dessus d'un arbre coudé avec manivelles à 120 degrés. Voici les dimensions caractéristiques :

$$D_1 = 0^m32 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.4$$
$$D_2 = 0\ 52 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.6} = \frac{D_3^2}{6.2}$$
$$D_3 = 0\ 80 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m62$$
$$L = 0\ 45$$
$$N = 175$$

L'accélération maximum est ainsi d'environ 76 m : s².

Le cylindre de haute pression est intercalé entre les deux autres : cette disposition a permis de placer d'une manière commode pour la visite et le démontage, sans exagérer la longueur de la machine, les organes de distribution. Ceux-ci consistent, pour la haute pression, en un système de deux tiroirs cylindriques concentriques, formant une détente Rider, et pour la moyenne et la basse pression en tiroirs plans du système Penn. La boîte cylindrique de distribution du double tiroir Rider est disposée entre les cylindres n° 1 et n° 2, vers l'arrière, de façon à ne pas gêner la juxtaposition de ces

cylindres; les tiroirs des cylindres n° 2 et n° 3 sont à droite et à gauche de l'ensemble, sur les côtés extérieurs de la machine.

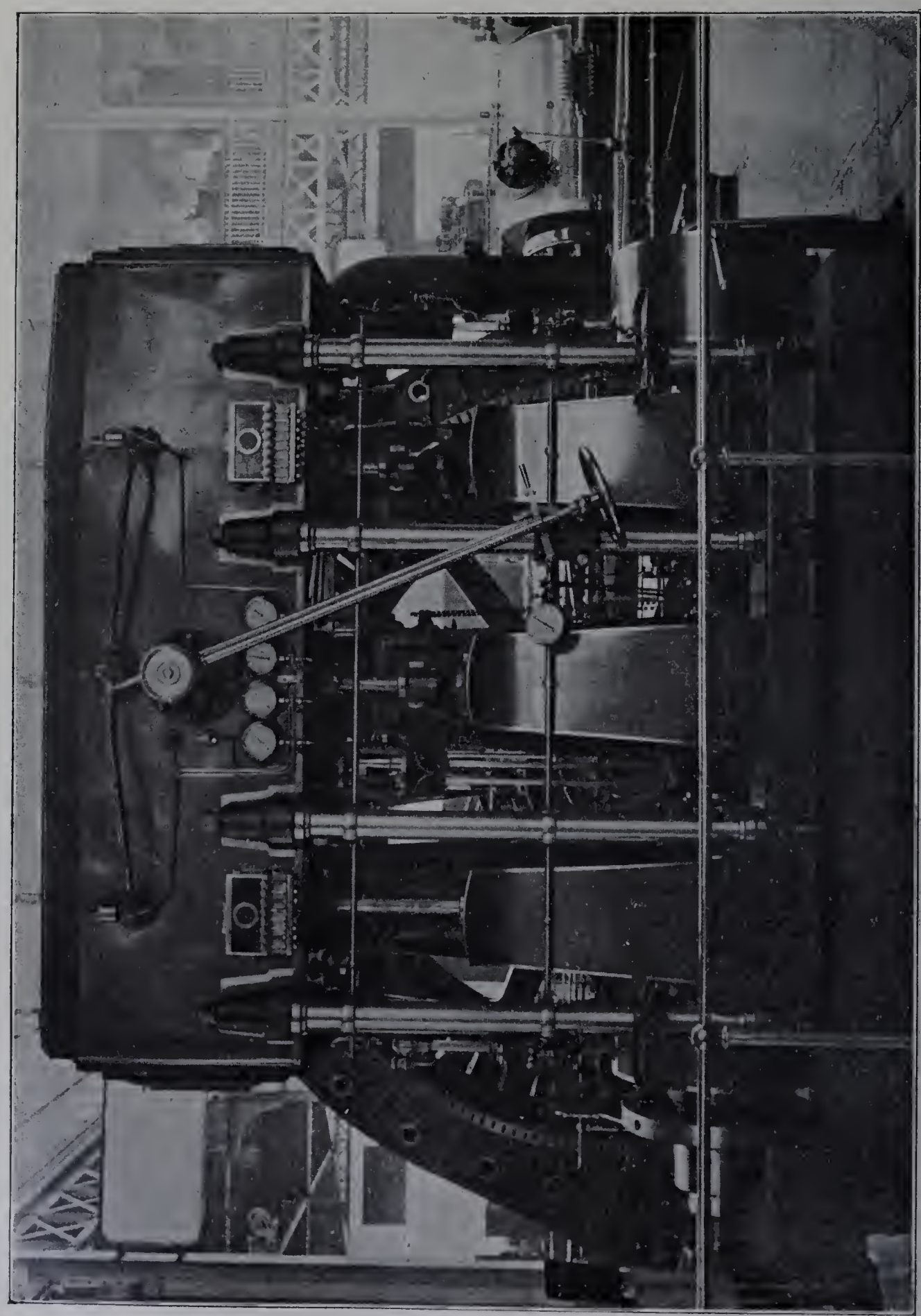


Fig. 562. — Machine à triple expansion (300 chevaux à 175 tours par minute) de la Société Escher Wyss.

Le premier cylindre est enveloppé de vapeur vive, et chacun des deux autres a pour enveloppe le réservoir intermédiaire correspondant. Des robinets spéciaux permettent,

au besoin, d'amener directement la vapeur vive dans le moyen ou dans le grand cylindre pour dépiquer le moteur.

La constance du nombre de tours est assurée par un régulateur à axe horizontal, dans lequel la force centrifuge est contre-balancée par des ressorts dont on peut faire varier la tension à la main au cours du fonctionnement.

Le mouvement de ce régulateur est pris sur l'arbre par une chaîne sans fin Reynolds.

Machine Belleville. — Comme exemple principal de leurs moteurs à grande vitesse avec graissage sous pression, MM. Delaunay-Belleville et Cie ont établi dans la galerie des groupes électrogènes un moteur à triple expansion (fig. 563 à 566) dont la vitesse angulaire est de 250 tours par minute et dont la puissance normale, avec une pression initiale de 13 kilogr. 5, s'élèverait à 1,750 chevaux. La vapeur de l'Exposition n'étant qu'à une pression effective d'environ 9 kilogrammes par centimètre carré, la puissance se trouve ramenée à 1,250 chevaux.

Ce moteur actionne l'inducteur et l'excitatrice d'un alternateur Boucherot à courants triphasés, construit par la maison Bréguet et ayant une puissance apparente de 875 kilovolts-ampères avec un facteur de puissance minimum de 0,8.

Les cylindres sont au nombre de quatre et superposés deux à deux, le n° 1 et le n° 2 étant respectivement au-dessus des deux nos 3. Les dimensions sont :

$$D_1 = 0^m 55 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.84$$
$$D_2 = 0\ 82 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.2} = \frac{2D_3^2}{4.8}$$
$$D_3 = D_3' = 0\ 85 \qquad \frac{2LN}{60} = 3^m 84$$
$$L = 0\ 46$$
$$N = 250$$

On voit que, malgré la forme trapue des cylindres, la vitesse linéaire moyenne des pistons approche de 4 m : s²; leur accélération maximum atteint 158 m : s².

La machine est assise sur un socle en fonte d'une seule pièce, dont les paliers font partie. Ces paliers sont au nombre de cinq : quatre encadrant les deux manivelles et un cinquième, de grande longueur, juxtaposé à l'un des précédents du côté de l'une des extrémités de l'arbre, pour soutenir le poids de l'inducteur, de 2 m. 19 de diamètre et 0 m. 74 de largeur, emmanché en porte-à-faux sur cette extrémité. L'arbre est en deux parties, formant chacune un vilebrequin et assemblées dans le plan médian de la machine. L'une des extrémités libres porte l'inducteur comme il vient d'être dit; l'autre se termine par un plateau d'accouplement qui fait tourner l'induit de l'excitatrice, disposée en prolongement.

Les manivelles sont décalées de 90 degrés et individuellement équilibrées par contrepoids.

Quatre montants de fonte, dont deux porte-glissières, relient le socle à un fort entablement formant plaque d'assise pour les deux cylindres à basse pression. Sur

chacun de ceux-ci s'élève une lanterne qui constitue à la fois le couvercle supérieur de ce cylindre, le couvercle inférieur du cylindre placé au-dessus et la pièce d'entretoisement.

Aucun des cylindres n'a d'enveloppe de vapeur.

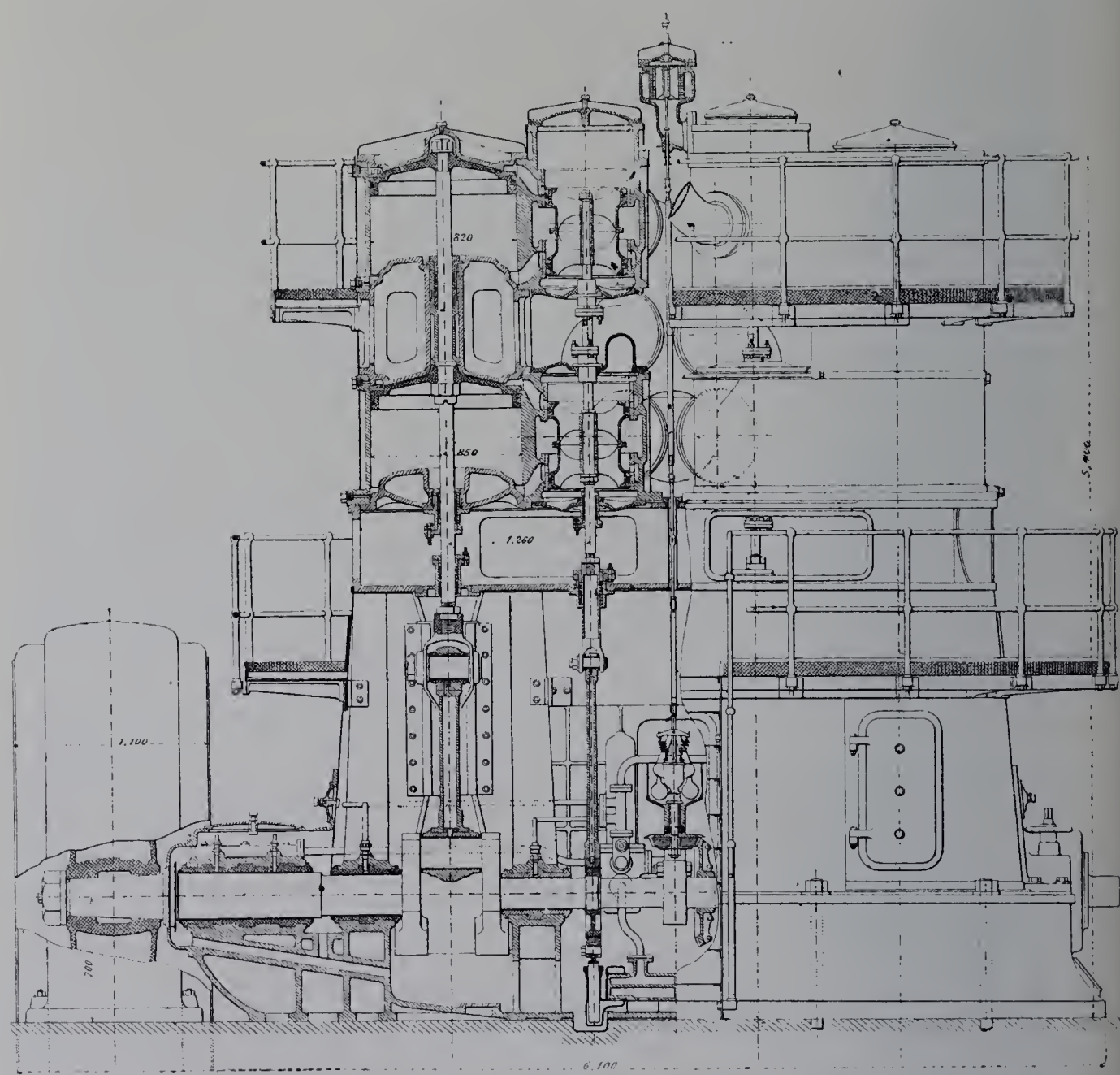


Fig. 563. — Machine à triple expansion de MM. Delaunay-Belleville et Cie.
Demi-coupe longitudinale et demi-élévation.

La distribution a lieu par tiroirs cylindriques simples. Les boîtes de distribution, superposées deux à deux, sont placées entre les deux lignes de cylindres. Sur la partie centrale de l'arbre sont calés deux excentriques, dont chacun conduit simultanément les deux tiroirs correspondant à l'une des lignes. La distribution ainsi arrangée est à détente fixe, même au cylindre n° 1; les variations de puissance sont obtenues par étranglement de la vapeur à l'entrée de la machine. A cet effet, une valve régulatrice en forme de lanterne équilibrée se trouve disposée à la partie supérieure du système, en amont de la boîte de distribution du premier cylindre; elle est sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge, monté sur billes au-dessus de la partie centrale de

l'arbre, entre les deux excentriques, et recevant son mouvement d'un engrenage d'angle. Le rappel des boules de ce régulateur est dû partie à leur poids, partie à l'action de deux ressorts à boudin, dont on peut faire varier la tension, pour amener exactement à une même vitesse le régime des différentes charges.

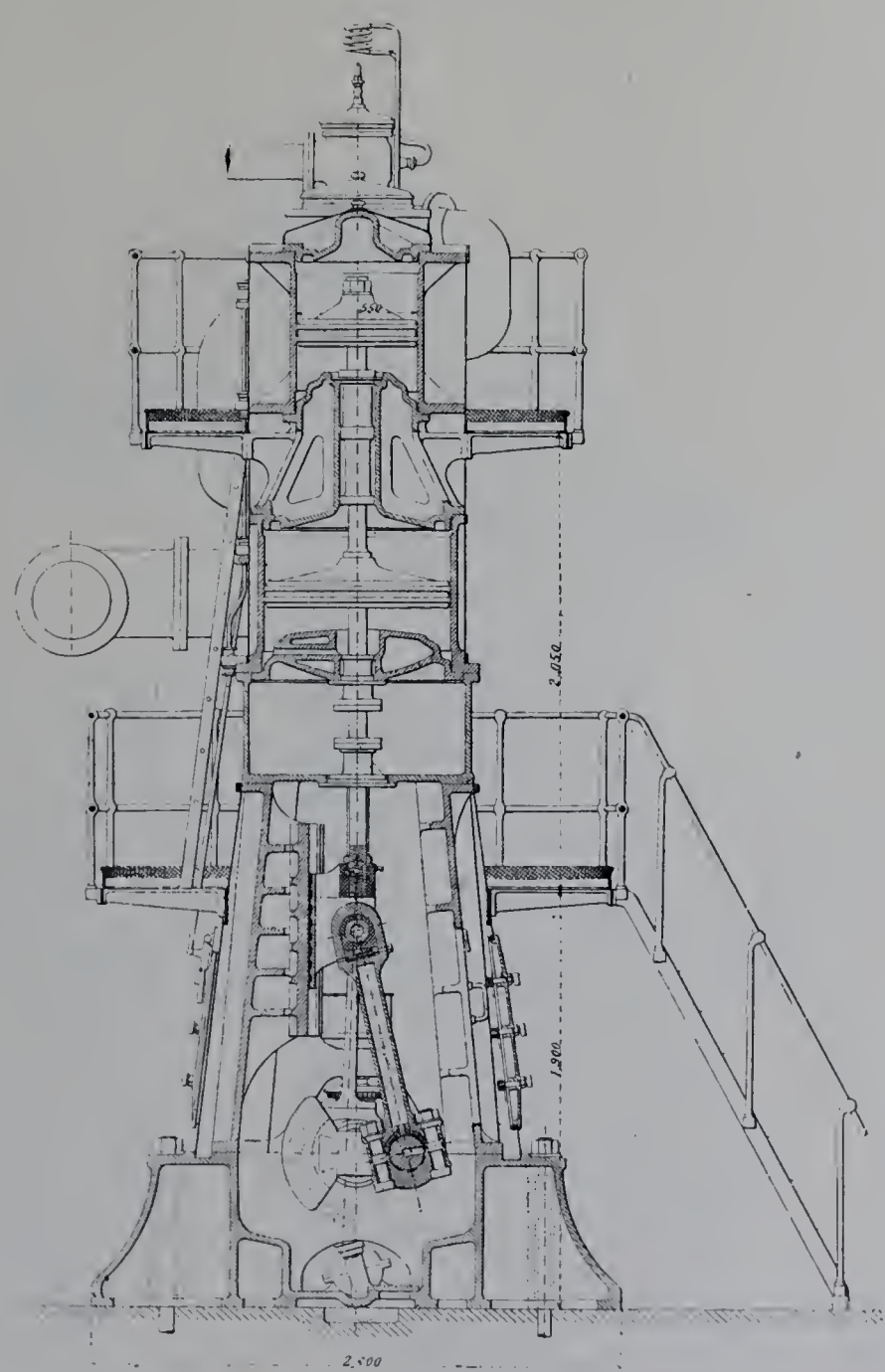


Fig. 564. — Coupe transversale.

Le moteur est entièrement cuirassé et la partie inférieure du socle forme réservoir d'huile. Sur le collier de chacun des deux excentriques est prise la commande d'une pompe à simple effet qui puise le lubrifiant dans ce réservoir et le refoule dans un collecteur horizontal.

Suivant le principe déjà indiqué par la fig. 266, la pompe est oscillante et sans clapets : le déplacement angulaire alternatif du corps de pompe se produit autour d'un gros tourillon fixe percé de deux canaux, l'un pour l'aspiration de l'huile, l'autre pour le refoulement, et de lumières que l'oscillation ouvre et ferme alternativement. Le

piston, sans garniture mais de grande longueur et rainuré, a 6 centimètres de diamètre et 14 centimètres de course. Le collecteur dans lequel l'huile est refoulée est pourvu d'une cloche à air et d'une soupape de sûreté, réglée pour une pression de 8 ou

Fig. 565. — Vue de la machine à triple expansion de MM. Delaunay-Belleville et Cie.

10 kilogrammes par centimètre carré. Par rapport à la distribution d'huile dont nous allons parler, le refoulement est surabondant, de sorte que la soupape laisse échapper l'excès et que le collecteur demeure constamment plein d'huile à cette pression.

Du collecteur partent des tuyaux allant aux différents paliers. L'arbre coudé est

creux, et il en est de même des bielles motrices et des bielles d'excentriques. Au droit de chacun des paliers de manivelle, un canal radial met en communication avec le vide de l'arbre une rainure circulaire des coussinets. Dans chacun des tourillons de manivelle, un canal analogue fait communiquer le vide central avec la soie. Ce canal établit périodiquement la communication avec le creux longitudinal de la bielle. Enfin, du

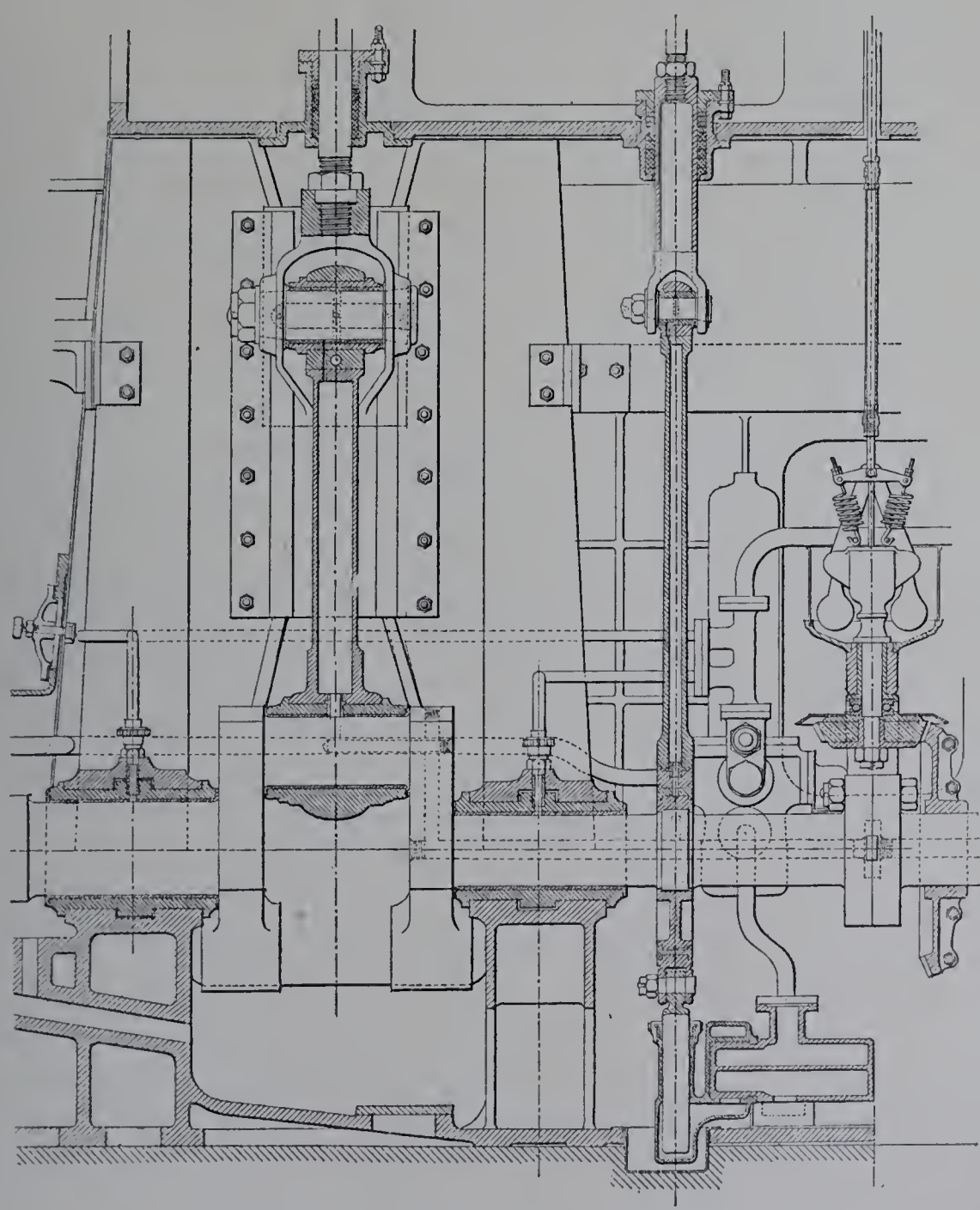


Fig. 566. — Détails de la coupe longitudinale.

sommet de celle-ci, des canaux ménagés suivant le même système aboutissent à la soie du tourillon de crosse et à la surface frottante du patin de glissière. L'huile sous pression, amenée dans les coussinets des paliers de l'arbre, passe donc de là aux coussinets de manivelle, puis aux coussinets de crosse et aux patins de glissière. Le long de chacune de ces surfaces de glissement, un suintement d'huile se produit, qui rejette au dehors une partie du lubrifiant. Le réservoir inférieur recueille le tout.

Le même système s'applique aux articulations des bielles d'excentrique.

Le rendement mécanique obtenu par ces dispositions dépasse, paraît-il, 90 p. 100.

Machine de MM. Schneider et Cie à distribution Claude Bonjour. — La machine verticale à triple expansion, exposée dans la Classe 19 par MM. Schneider et Cie (fig. 567 à 574) est, en réalité, une machine de torpilleur. Elle est construite pour une vitesse maximum de 360 tours par minute, une pression initiale de 15 kilogrammes par centimètre carré et une puissance de 1,500 chevaux. Elle comprend trois cylindres juxtaposés au-dessus d'un arbre coudé dont les manivelles sont à 120 degrés. Les données caractéristiques sont :

$$D_1 = 0^m 425 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.06$$
$$D_2 = 0\ 610 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.1} = \frac{D_3^2}{4.2}$$
$$D_3 = 0\ 870$$
$$L = 0\ 450 \qquad \frac{2LN}{60} = 5^m 4$$
$$N = 360$$

On voit que, à l'allure de 360 tours par minute, la vitesse moyenne des pistons dépasse 5 mètres par seconde; leur accélération maximum s'élève au chiffre considérable de 320 m : s².

Chaque coude de l'arbre, muni de contrepoids rapportés qui en équilibrent individuellement les manivelles, est assujetti dans deux paliers qui l'encadrent et qui font partie intégrante de la plaque de fondation. Celle-ci mesure 3 m. 855 de longueur et 1 m. 25 de largeur, soit un encombrement horizontal de 32 centimètres carrés par cheval. Elle est formée de deux pièces, l'une à l'avant de 2 m. 17 de longueur, l'autre à l'arrière de 1 m. 685, solidement boulonnées ensemble.

Les cylindres sont à chemise intérieure rapportée et à enveloppe de vapeur complète, fonds et pourtour. Les pistons sont en chapeau chinois. Chaque cylindre est précédé, dans le sens du cheminement général de la vapeur, de son tiroir de distribution. Celui-ci est cylindrique pour le cylindre n° 1, plan pour les deux autres. Les trois unités, formées chacune d'un cylindre et de sa boîte à tiroir, sont boulonnées les unes à la suite des autres en un seul bloc; la distance d'axe en axe des cylindres est 1 mètre du n° 1 au n° 2, 1 m. 285 du n° 2 au n° 3.

Le bloc est séparé de la plaque de fondation par une distance verticale de 1 m. 35, la longueur des bielles étant de 0 m. 96, soit un peu plus de 4 fois (4,26) celle des manivelles. La liaison est réalisée au moyen de six supports transversaux, placés au droit des paliers et composés chacun de deux épontilles verticales, à section circulaire pleine de 54 millimètres de diamètre, reliées par une croix de Saint-André à section I; en outre, à mi-hauteur, les épontilles et le centre de la croix sont réunis par une entretoise horizontale. A cette même cote est assujettie le long d'un des deux cours d'épontilles une pièce plate que sa forme rend résistante aux efforts horizontaux et sur laquelle sont fixées les extrémités inférieures des trois glissières. Enfin l'entretoisement longitudinal de la charpente est assuré au moyen de deux tirants obliques à section I.

Les glissières, plates et à double face, larges de 22 centimètres et épaisses de 6, sont boulonnées par le haut à la semelle inférieure des cylindres et par le bas à la pièce

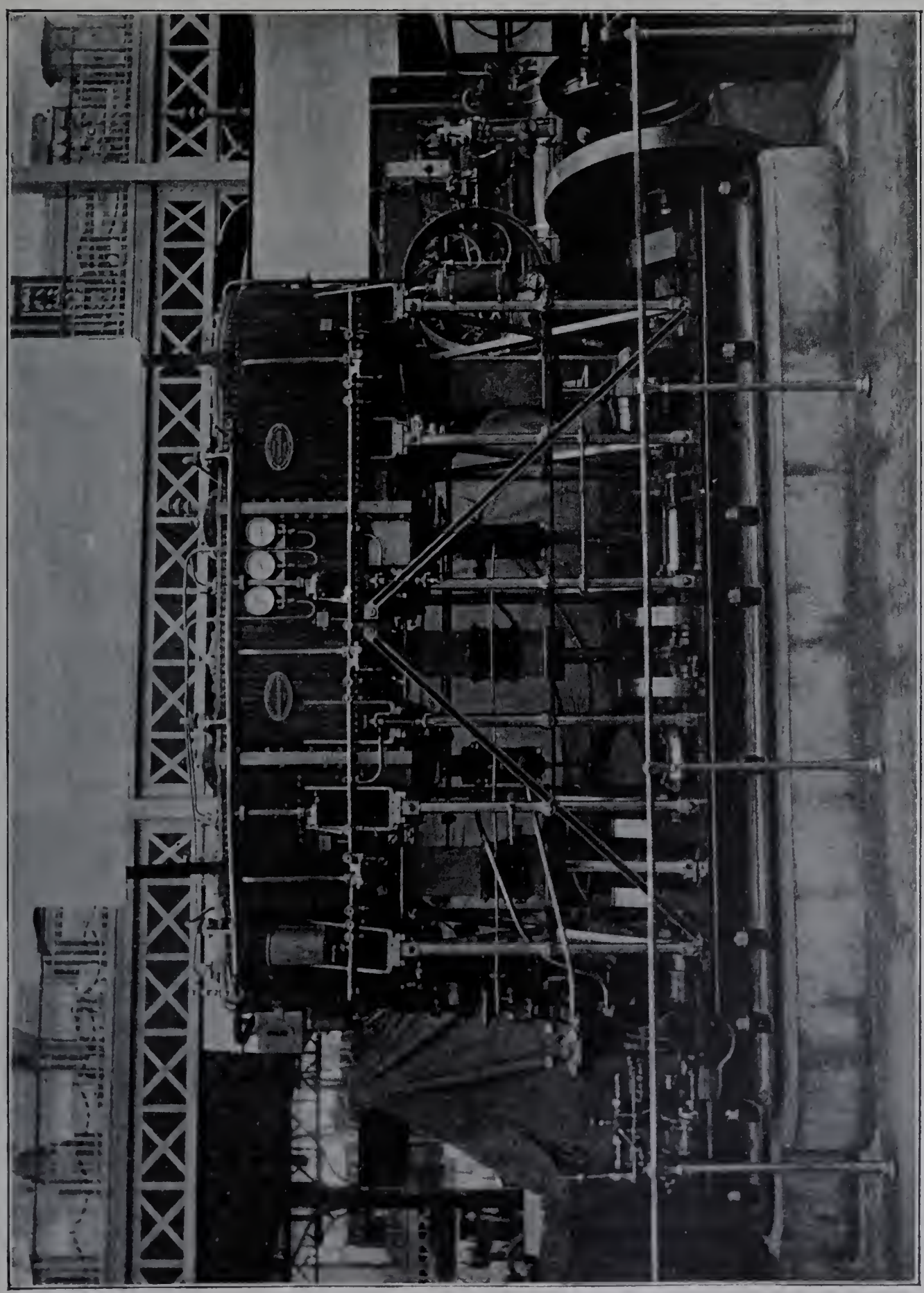


Fig. 567. — Machine à triple expansion (type torpilleur) avec commande hydraulique des tiroirs système Claude Bonjour. (MM. Schneider et Cie.)

d'assemblage dont nous venons de parler. Le long de chacune d'elles coulisse un patin formant fourreau complet; la surface frottante principale, pour le sens normal de rota-

tion, est celle correspondant à la partie du fourreau venue de forge avec la traverse; le contre-patin est porté par une deuxième partie boulonnée sur la première.

Jusqu'ici, nous n'avons fait que décrire une machine de torpilleur. Il reste à dire comment le mouvement est donné aux tiroirs. Le type comporterait, au-dessous de chaque boîte de distribution, deux excentriques calés sur l'arbre et une coulisse de Stephenson. Mais, dans la machine exposée, ce mécanisme a été remplacé par un système fort original, qui constitue l'une des inventions de M. Claude Bonjour.

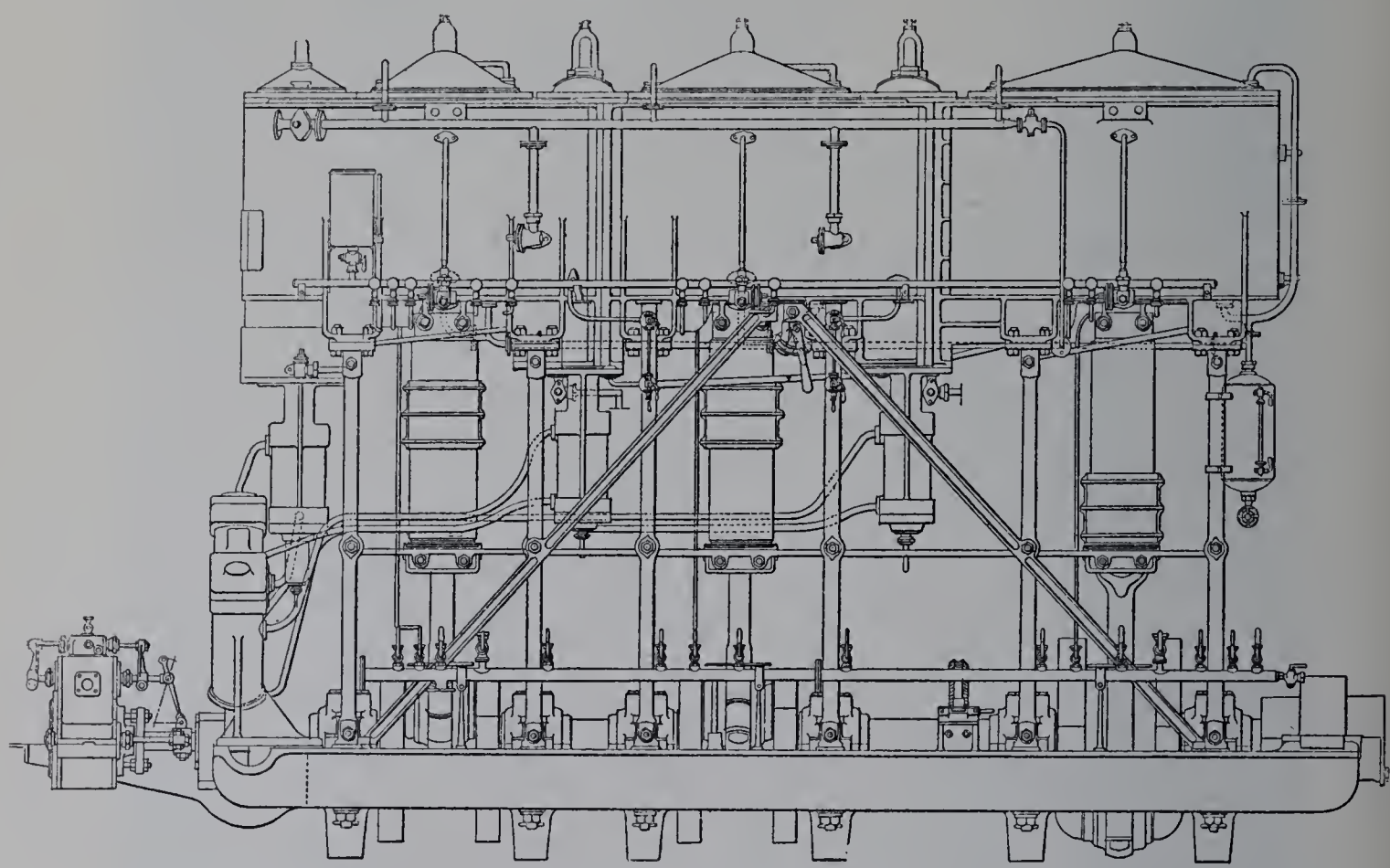


Fig. 568. — Machine de torpilleur à distribution Claude Bonjour, de MM. Schneider et Cie. Élévation longitudinale.

Chaque tiroir est mû par une commande hydraulique. A des détails près, qui sont d'ailleurs essentiels et sur lesquels nous reviendrons tout à l'heure, l'idée est celle-ci : la tige du tiroir est immédiatement conduite par un petit piston B (fig. 570) mobile dans un cylindre; les deux extrémités de celui-ci sont reliés par les tuyaux E et E¹ aux extrémités d'un autre cylindre analogue, dans lequel un piston va et vient sous l'action d'un excentrique calé sur l'arbre de machine; tout le système, cylindres et tuyaux, est entièrement rempli d'huile. A raison de l'incompressibilité du liquide, le piston *récepteur* auquel est attelé le tiroir se meut de la même manière que le piston *moteur* actionné par l'excentrique; les déplacements sont égaux ou simplement proportionnels, suivant que les pistons ont ou non le même diamètre; ils sont de même sens ou de sens inverse selon que les connexions sont croisées ou non. Tout se passe comme avec une transmission rigide, sans qu'il y ait sur le trajet aucune pièce mobile; on est maître de donner au cylindre *moteur* tel emplacement et telle orientation que l'on veut.

Les déplacements des trois tiroirs de la machine devant toujours être décalés de 120 degrés, on groupe les trois cylindres *moteurs* en éventail, dans un même plan perpendiculaire à l'arbre, à une extrémité de celui-ci. Au lieu de les espacer à 120 degrés, il revient au même de les espacer à 60 degrés en inversant les connexions pour celui du milieu : ce groupement est plus commode parce qu'il permet de disposer les trois cylindres au-dessus de l'arbre. Si maintenant on supposait que les trois pistons prissent leurs mouvements sur un même excentrique par trois colliers distincts, ces mouvements seraient identiques au décalage près. En réalité, il n'en est pas tout à fait ainsi : on n'a mis, comme le montre la fig. 569, qu'un seul collier d'excentrique, dont la barre sert de bielle au piston moteur de la distribution du grand cylindre ; les deux autres pistons sont conduits par des bielles articulées sur ce même collier. Les mouvements ainsi obtenus pour les trois pistons n'ont pas tout à fait la même loi de variation, mais ils sont quand même exactement déphasés, les pistons se trouvant à une même extrémité de leur course pour trois positions de l'excentrique espacées de 60 degrés.

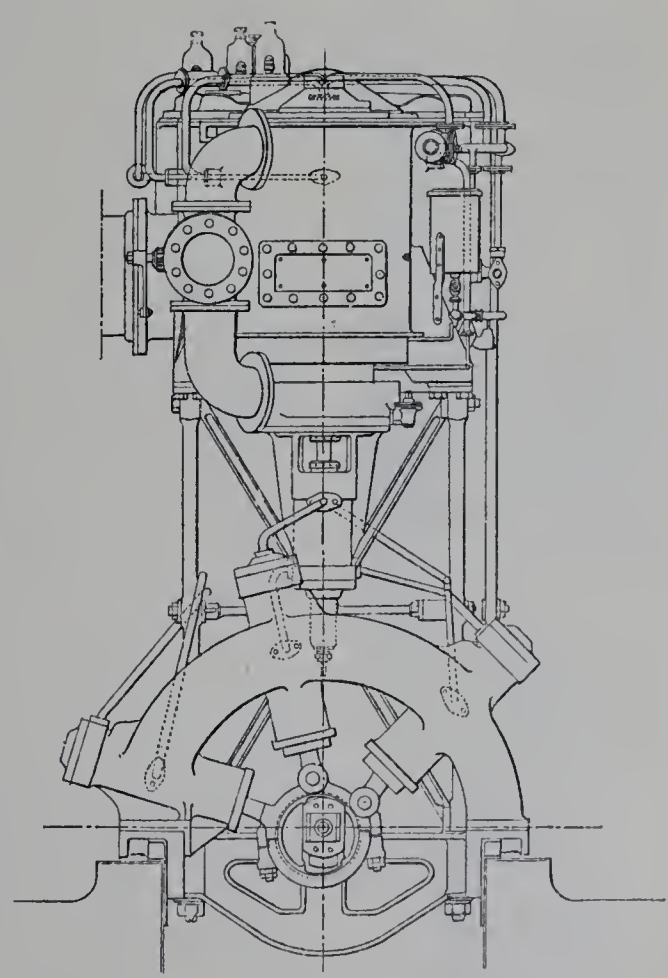


Fig. 569. — Elévation transversale.

Nous avons dit que nous aurions à revenir sur des détails essentiels. En effet, si elle était réduite à ces dispositions, la transmission serait incapable de fonctionner d'une manière prolongée, car il suffirait d'une légère fuite d'huile pour en altérer le jeu au bout de peu de temps, sans compter que le système ne se prêterait pas aux inégalités de dilatation entre le liquide et le métal.

Il faut donc à la fois rendre possible les effets de dilatation et réparer automatiquement les pertes. C'est à ces difficultés du problème que M. Claude Bonjour répond par l'arrangement suivant.

Chaque cylindre à huile, *moteur* ou *récepteur*, contient un long piston sans garniture, dont la longueur est presque égale au maximum de son excursion. Lorsqu'il achève celle-ci, dans un sens ou dans l'autre, ce piston démasque une couronne d'orifices *cc* (fig. 570) percés exactement à mi-longueur du cylindre et mettant celui-ci en communication avec une enveloppe annulaire dont il est entouré.

Toutes les enveloppes, tant des cylindres *moteurs* que des *récepteurs*, sont en relation permanente entre elles et avec un réservoir supérieur ouvert à l'air libre : c'est le tuyau F qui assure cette relation pour le cylindre *récepteur* représenté. Le tout est

plein d'huile. Enfin la cylindrée est plus grande pour les premiers cylindres que pour les seconds.

Dès lors, le fonctionnement est le suivant. Imaginons l'un des pistons *moteurs* à l'extrémité inférieure de sa course. Au-dessus de lui, le cylindre communique par la couronne d'orifices avec l'enveloppe annulaire et par conséquent avec le réservoir supérieur. Si nous négligeons la charge due à l'élévation de celui-ci, nous pouvons dire que la pression atmosphérique règne dans le cylindre au-dessus du piston et que par suite cette même pression existe aussi dans le tuyau allant du haut de ce cylindre au bas du *récepteur,* ainsi que dans ce dernier au-dessous de son piston. A présent, le piston *moteur* s'élève : à partir de l'instant où il masque la couronne d'orifices, l'huile contenue dans la capacité complexe que nous venons de considérer se trouve emprisonnée et l'ascension du piston *moteur* a nécessairement pour conséquence une ascension du *récepteur,* équivalente comme volume engendré. L'huile prend, durant ce mouvement commun, la pression nécessaire pour vaincre la résistance. Cela a lieu jusqu'à ce que le piston *récepteur* arrive à démasquer au-dessous de lui la couronne d'orifices de son cylindre, ce qui, à raison de la différence des cylindres, se produit nécessairement avant que le *moteur* ait achevé son mouvement ascendant. Aussitôt le *récepteur* s'arrête, la pression tombant à la valeur atmosphérique au-dessous de lui, et le *moteur* achève sa course sans produire d'autre effet que l'expulsion d'une certaine quantité d'huile qui s'écoule par les orifices du cylindre récepteur. Alors les deux pistons se trouvent simultanément au sommet de leur excursion et tout le système est plein d'huile à la pression atmosphérique : car, des deux capacités complexes dont les deux tuyaux de transmission font respectivement partie, l'une est en relation, comme nous venons de le voir, avec le système des enveloppes parce que le piston récepteur est au sommet de sa course; l'autre l'est aussi, parce que le piston moteur est au sommet de la sienne. Tout est donc prêt pour une course de retour que les deux pistons accompliront simultanément : cette course commencera, pour le piston *récepteur,* aussitôt que le *moteur* aura masqué les orifices de son cylindre, et elle se terminera un peu plus tôt pour le premier que pour le second, à cause de la différence des cylindrées.

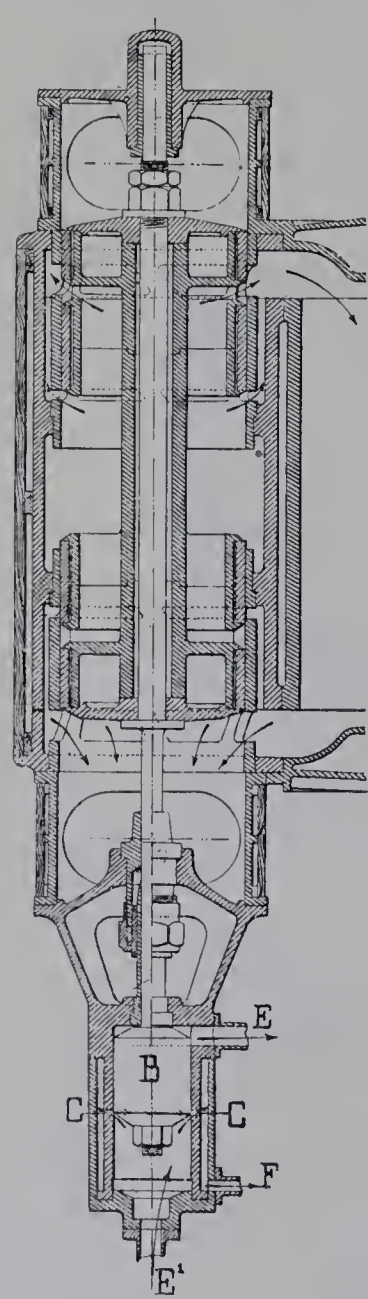


Fig. 570.
Coupe d'un tiroir.

Si nous continuons de considérer, pendant cette course de retour, la même capacité que tout à l'heure, nous voyons qu'elle restera pleine d'huile à la pression atmosphérique durant tout le déplacement du piston *récepteur,* mais que, à partir de l'instant où celui-ci s'immobilise à l'extrémité de sa course, la continuation du mouvement du

piston *moteur* a pour effet de produire un vide dans cette capacité; lorsque le piston *moteur* arrive à son tour à la position qui démasque la couronne d'orifices de son cylindre, l'huile de l'enveloppe pénètre au travers des trous pour combler le vide et

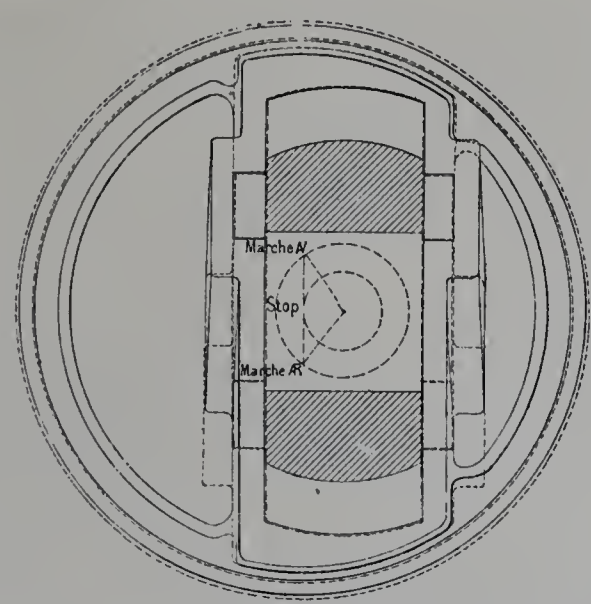


Fig 571. — Excentrique à calage variable.

rétablir la pression atmosphérique. La petite quantité de liquide ainsi aspirée est égale à celle rejetée hors du cylindre *récepteur,* de sorte que l'huile prend dans le système un mouvement de circulation.

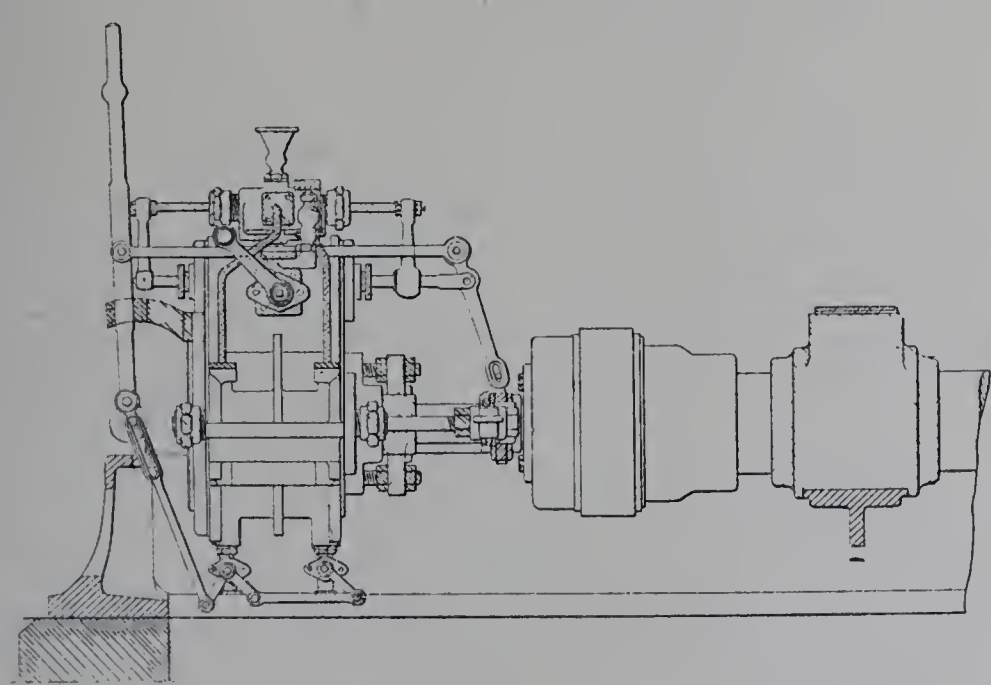


Fig. 572. — Mécanisme de changement de marche avec servo-moteur. — Élévation longitudinale.

Nous n'avons pas eu besoin de supposer qu'au début du fonctionnement, alors que le piston moteur était au bas de sa course, il en fût de même du piston récepteur. Si la condition n'est pas remplie, celui-ci se trouvera, pour commencer, amené prématurément au sommet de son excursion : mais là il s'immobilisera jusqu'à ce que le piston *moteur* ait achevé la sienne, et à partir de cet instant les mouvements des deux pistons seront concordants.

Il est intéressant que l'accord de phase s'établisse ainsi automatiquement, car pendant les arrêts de la machine il peut se trouver compromis par un défaut d'étanchéité.

Pour renverser la marche, on change le calage de l'excentrique, qui n'est pas invariablement fixé sur l'arbre de la machine, mais disposé à coulisse comme les fig. 571 et 573 le font voir. L'arbre se termine, à son extrémité Æ, par une sorte de fourche très robuste, dont les branches sont représentées en coupe par les parties hachurées de la fig. 571. C'est sur cette fourche qu'est placé l'excentrique, percé d'un évidement qui lui permet de coulisser, son centre se déplaçant en ligne droite, suivant le tracé en pointillé, de la position de marche AV à celle de marche Æ. Tout déplacement longitudinal lui est d'ailleurs interdit, parce qu'il se trouve compris sans jeu entre le tourteau qui forme la base de la fourche et une plaquette vissée sur l'extrémité des branches de celle-ci.

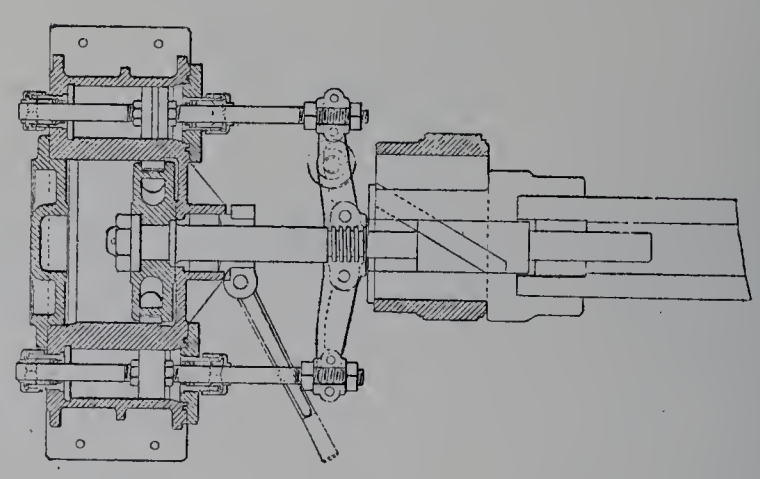


Fig. 573. — Coupe horizontale du mécanisme de changement de marche et du servo-moteur.

Il reste à expliquer comment cet excentrique est fixé dans chacune de ses positions relatives par rapport à la fourche et amené, lorsqu'il y a lieu, d'une position à une autre.

Remarquons que les branches de la fourche et l'évidement de l'excentrique laissent entre eux un vide prismatique à section carrée, qui reste toujours de même forme et coaxial à l'arbre. Dans ce vide est engagée à frottement doux une pièce en bronze de même section transversale, dite *coin de changement de marche,* susceptible d'être déplacée longitudinalement. L'excentrique porte sur les deux joues de son évidement deux rainures obliques, dans lesquelles sont engagés deux talons portés par le coin de changement de marche. Suivant que celui-ci avance ou recule, l'excentrique se déplace donc transversalement; à chaque position du coin correspond un règlement déterminé de la distribution.

Pour gouverner le coin de changement de marche, il est fait usage d'un servo-moteur du type «Creusot» établi, comme les dessins le montrent, dans le prolongement de l'arbre de la machine.

Le coin tournant avec l'arbre, tandis que le servo-moteur fait avancer ou reculer une

pièce non rotative, un assemblage par rainures circulaires et collets de butée est interposé entre les deux organes.

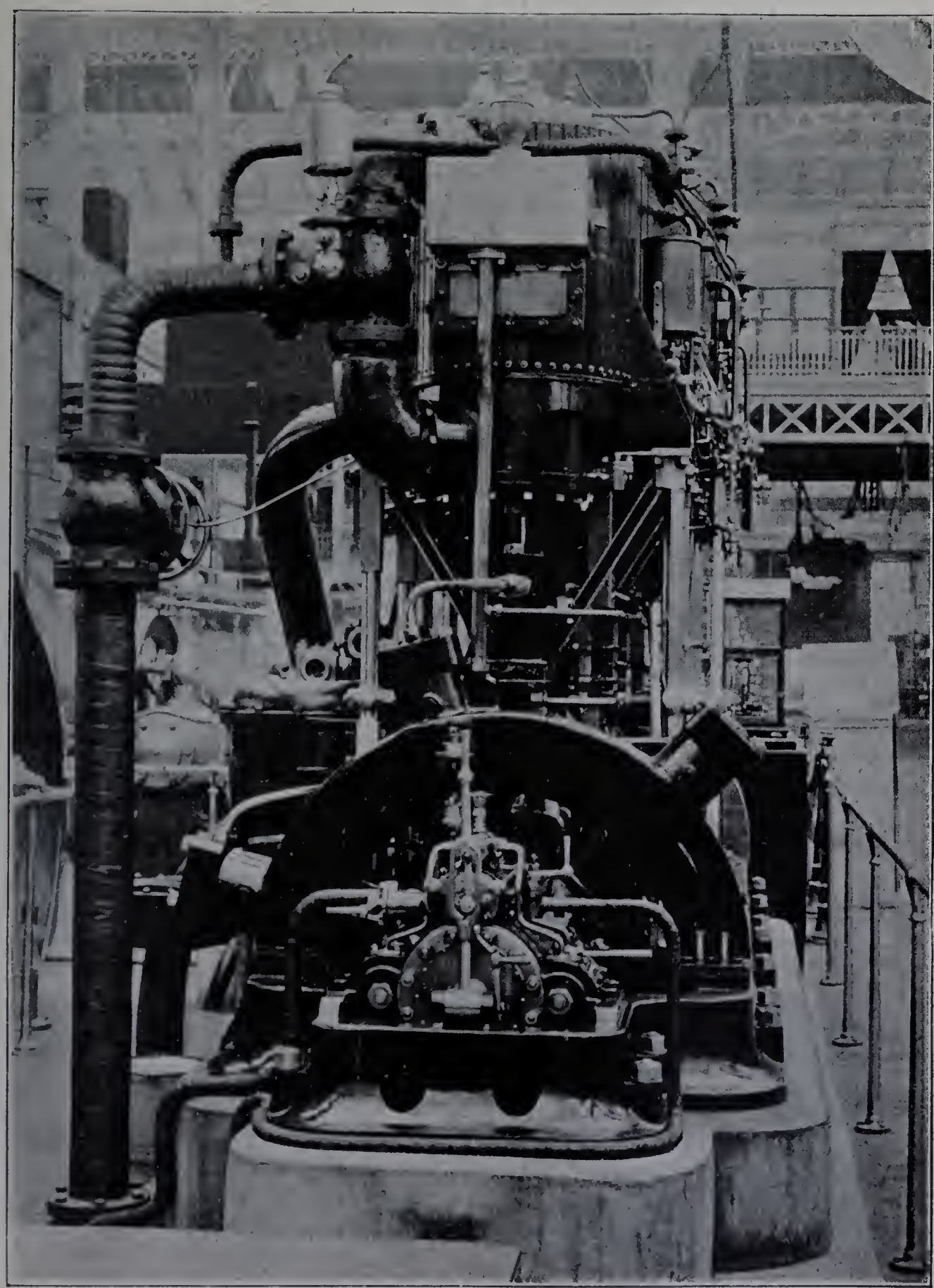


Fig. 574. — Vue en bout de la machine et du servo-moteur de changement de marche.

Machine Mertz à triple expansion. — Comme la machine de 120 chevaux à double expansion dont on a vu plus haut la description, la machine à triple expansion de

IMPRIMERIE NATIONALE.

Fig. 575. — Machine à triple expansion et quadruple effet de M. Émile Mertz. — Coupe longitudinale.

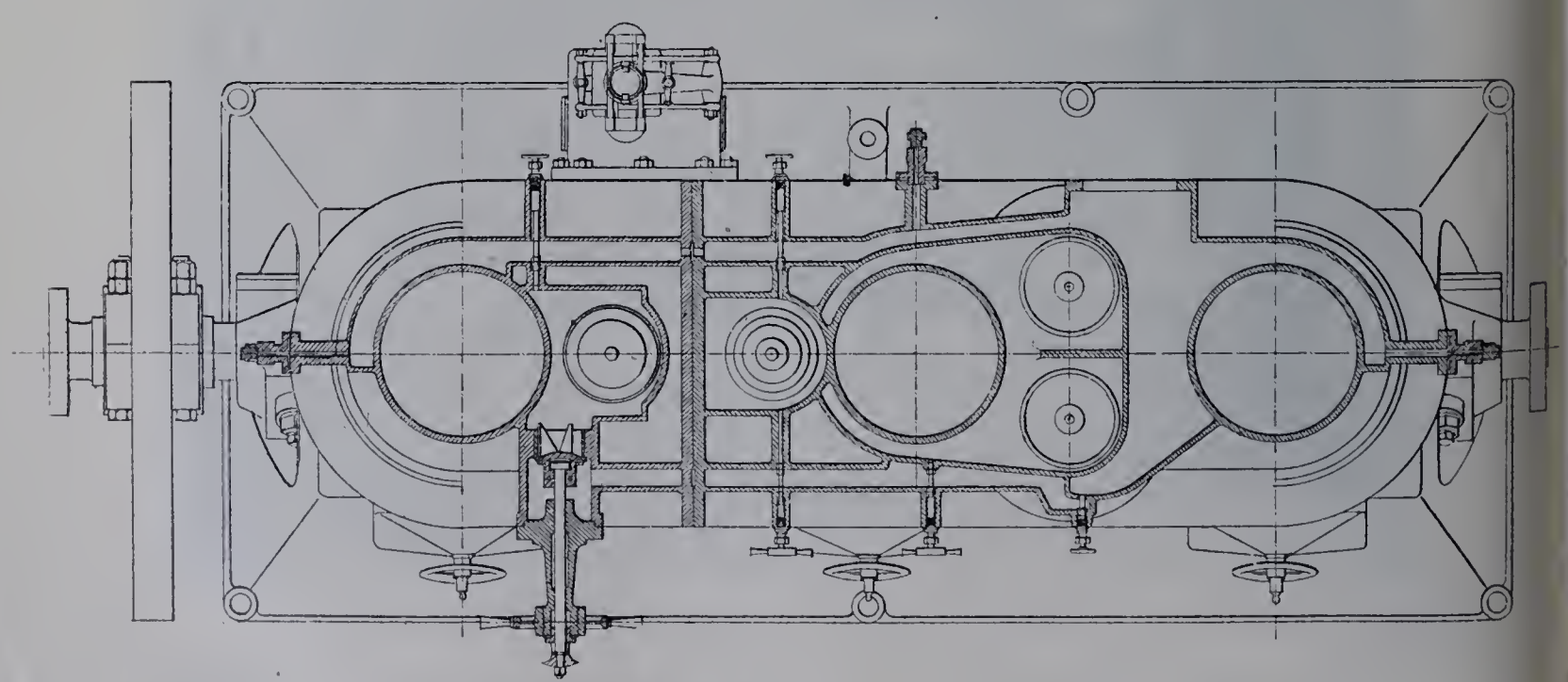


Fig. 576. — Machine Mertz à triple expansion. — Plan.

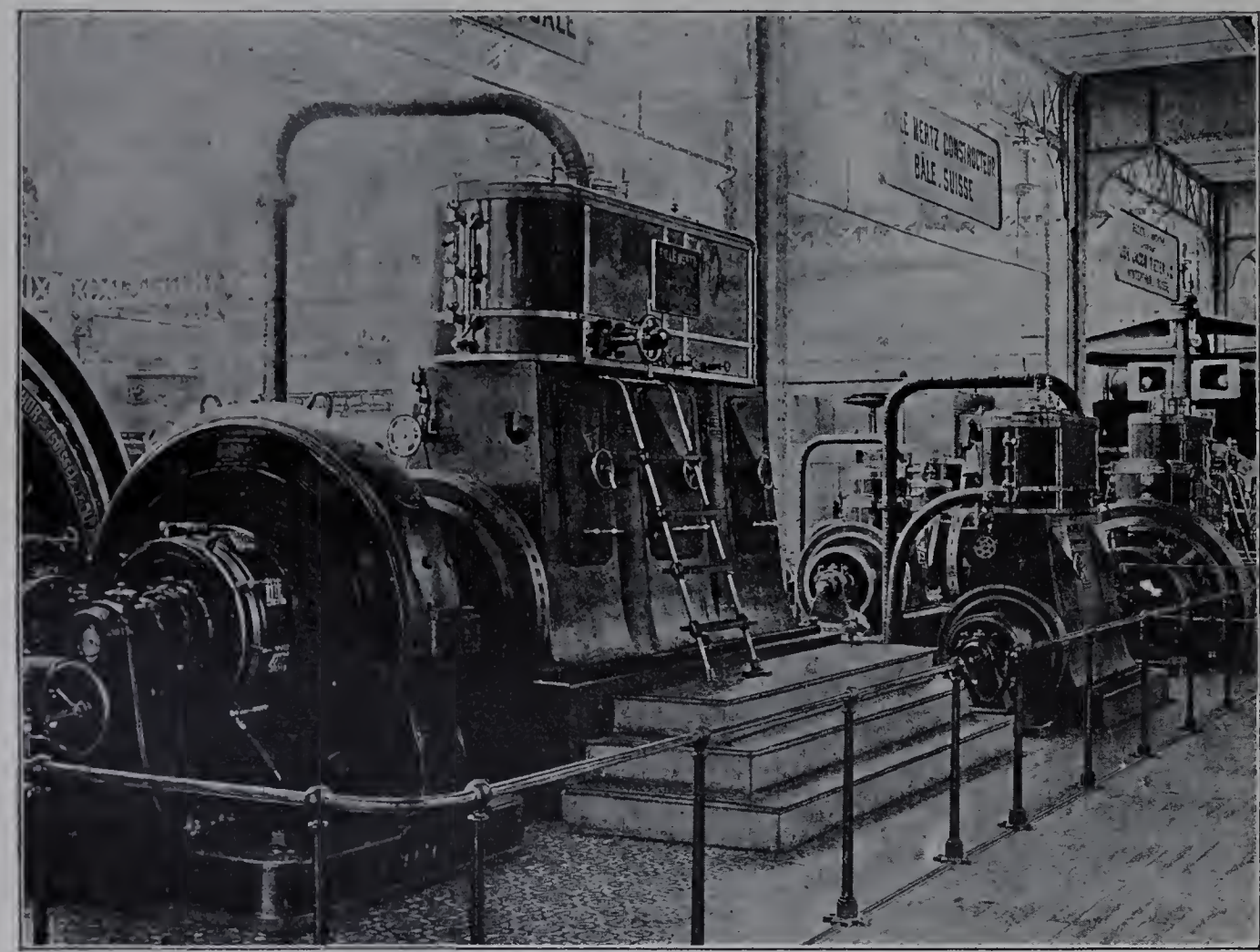


Fig. 578. — Vue de l'exposition de M. Émile Mertz, montrant la machine à triple expansion et quadruple effet.

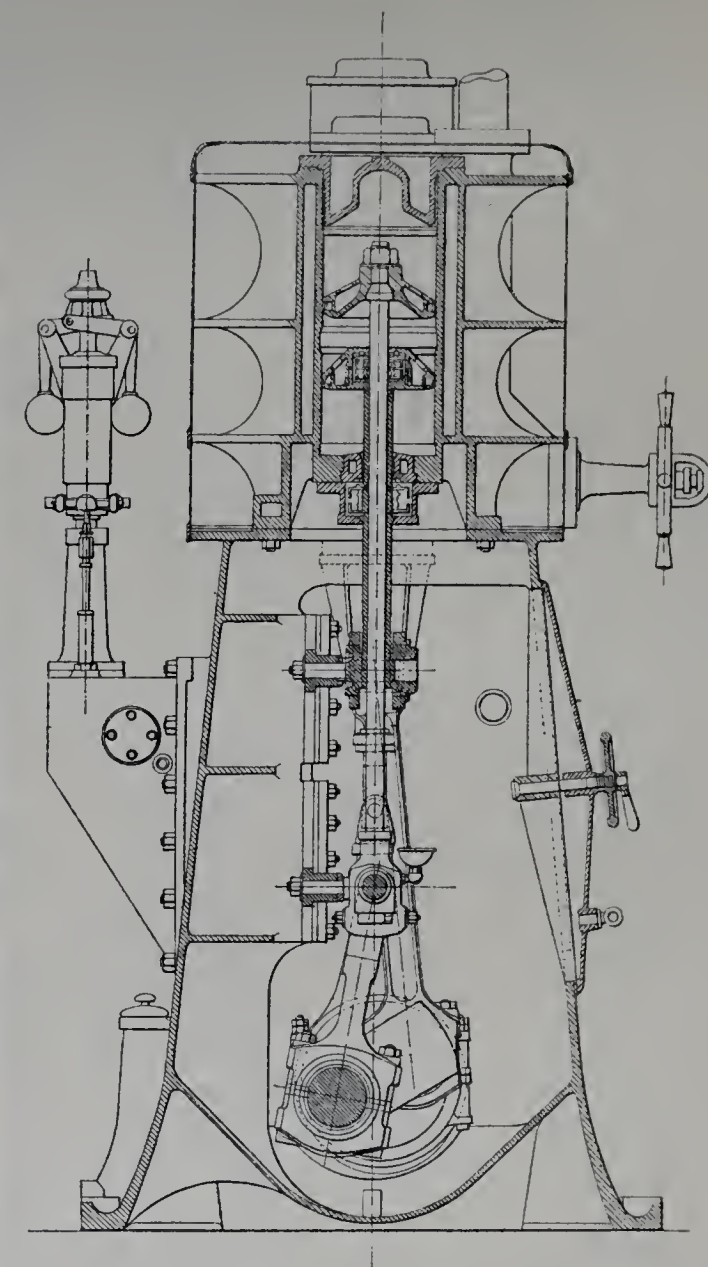


Fig. 577. — Coupe transversale.

M. Émile Mertz est à doubles pistons à double effet. Elle développe 360 chevaux à 350 tours par minute, avec les dimensions suivantes :

$$D_1 = 0^m 29 \qquad \frac{L + L'}{D_1} = 1.5$$
$$D_2 = 0\ 45 \qquad \frac{D_2^1}{1} = \frac{D_2^2}{2.4} = \frac{D_3^2}{5.8}$$
$$D_3 = 0\ 70 \qquad L = L' = 0\ 22 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 55$$
$$N = 350$$

L'accélération maximum est de 148 m : s².

Les fig. 575 à 578 rendent compte en détail des dispositions et de l'aspect de cette intéressante machine, dont les principes de construction sont les mêmes que ceux du moteur à double expansion.

Quadruple expansion. — Deux machines à quadruple expansion fonctionnent dans la Classe 19.

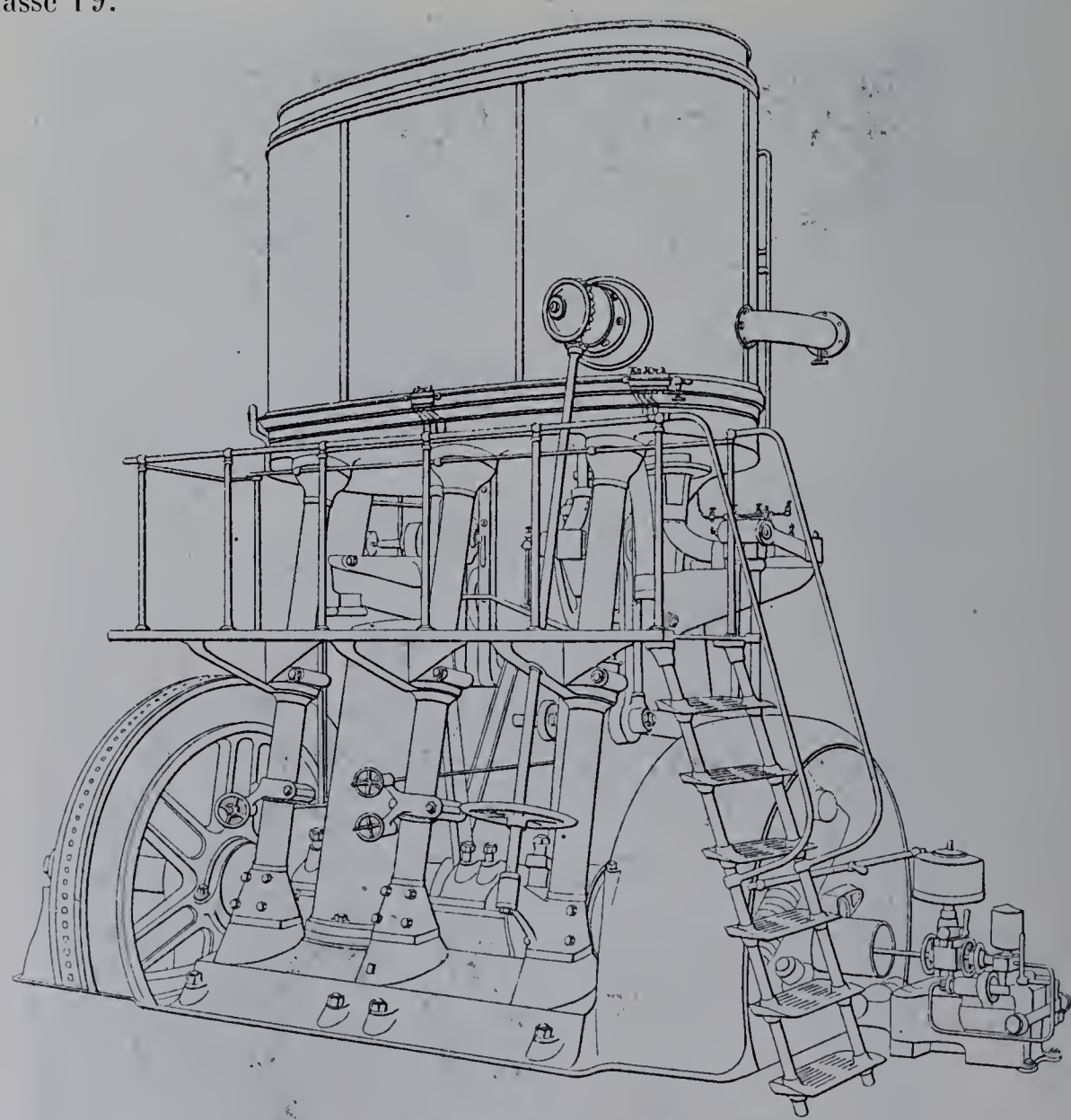


Fig. 579. — Machine à quadruple expansion de M. F. Tosi. — Vue perspective.

Toutes deux sont verticales et rentrent dans la catégorie des groupes compacts à rotation accélérée.

L'une est un beau et puissant moteur construit par M. Franco Tosi, l'autre, une machine de dimensions modestes, dont les dispositions très originales sont dues à M. Charles Bourdon.

Machine Tosi à quadruple expansion. — Le grand moteur vertical de M. Franco Tosi (fig. 579 à 585) est construit pour une pression initiale de 14 kilogrammes par centimètre carré et une puissance de 600 à 800 chevaux à 160 tours par minute. Les quatre cylindres sont superposés deux à deux, le n° 2 au-dessus du n° 1, le n° 4 au-dessus du n° 3.

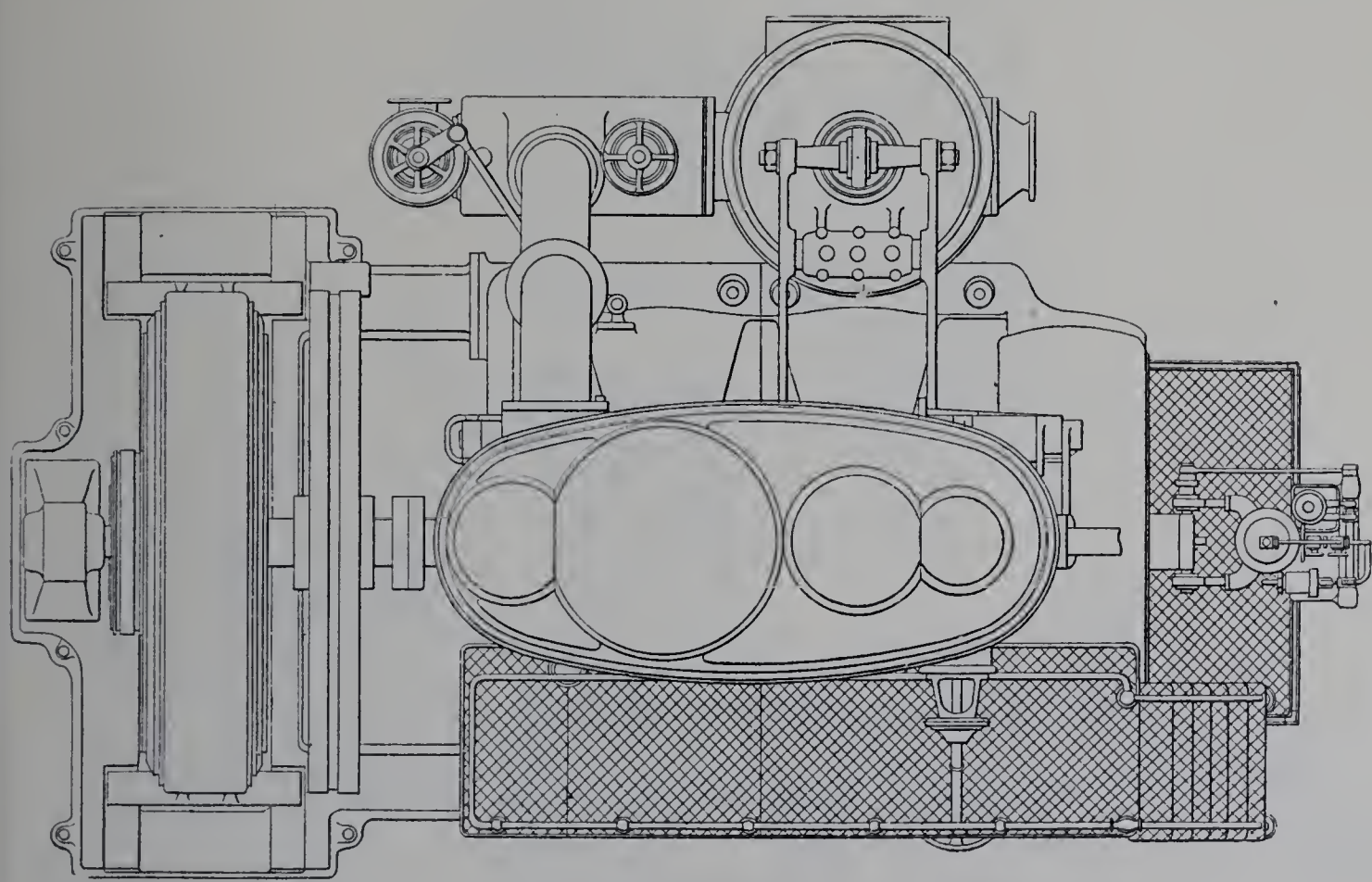


Fig. 580. — Plan.

Il y a ainsi deux bielles motrices; la disposition générale est analogue à celle des machines-pilons à double expansion étudiées ci-dessus; les deux lignes de cylindres sont juxtaposées au-dessus d'un arbre coudé, dont les manivelles sont décalées de 90 degrés.

Cet arbre, d'une seule pièce, présente des contrepoids équilibrant chacune des manivelles.

Il a sur ses extrémités, d'un côté le régulateur, de l'autre un plateau d'accouplement sur lequel est assujetti, en prolongement, un arbre portant, côte à côte, un volant et l'induit de la machine électrique. Celle-ci est une dynamo à courant continu, d'une puissance normale de 400 kilowatts (800 ampères sous 500 volts), construite par la Société Esercizio Bacini de Gênes.

Le tableau suivant résume les données caractéristiques du moteur.

$$D_1 = 0^m375 \quad D_2 = 0^m525 \quad D_3 = 0^m675 \quad D_4 = 1^m.$$

$$L = 0^m65 \quad N = 160$$

$$\frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{1.96} = \frac{D_3^2}{3.24} = \frac{D_4^2}{7.1}$$

$$\frac{L}{D_1} = 1.73 \quad \frac{2LN}{60} = 3^m47$$

Les pistons ont ainsi une allure moyenne assez rapide, avec une accélération maximum de 91 m : s².

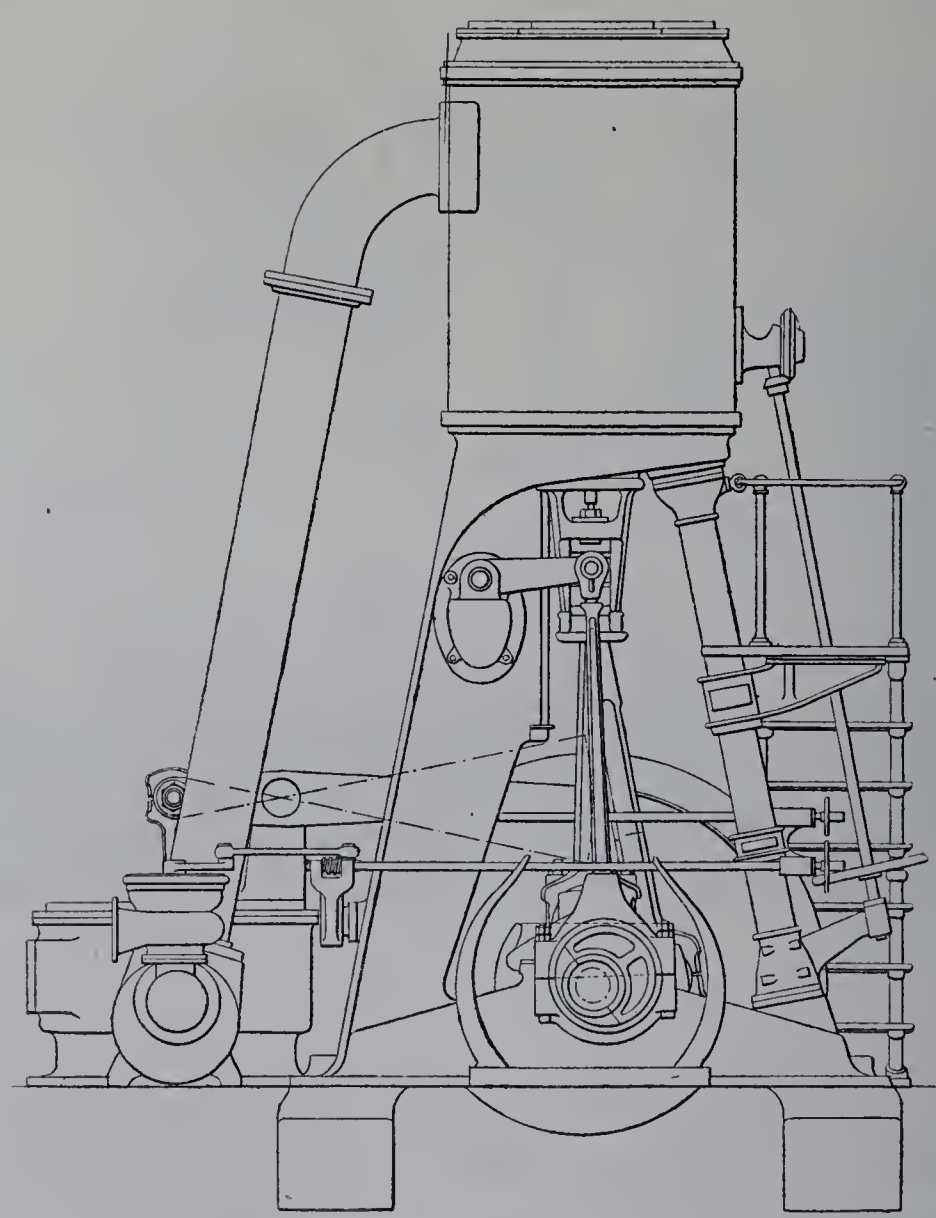


Fig. 581. — Élévation latérale.

Le bâti comprend trois paliers encadrant les deux manivelles. Il est formé de deux grandes pièces de fonte, boulonnées suivant le plan vertical transversal qui passe par le centre du palier du milieu. Chacune de ces pièces comprend l'un des paliers extrêmes, la moitié du palier du milieu, la cuvette qui les réunit au-dessous de la manivelle et une cuvette d'extrémité qui recueille l'huile des organes de distribution, le montant oblique portant la glissière, enfin la moitié de l'entablement supérieur.

A l'avant de la machine, l'entablement est relié au socle par trois colonnes inclinées.

Comme dans le petit moteur vertical du même constructeur, les deux cylindres d'une même ligne sont immédiatement superposés, séparés par un diaphragme amovible qui sert de couvercle à l'un et de fond à l'autre. Le démontage des pistons se fait par le haut.

Ces pistons, faits d'acier, sont de forme légère, en chapeau chinois.

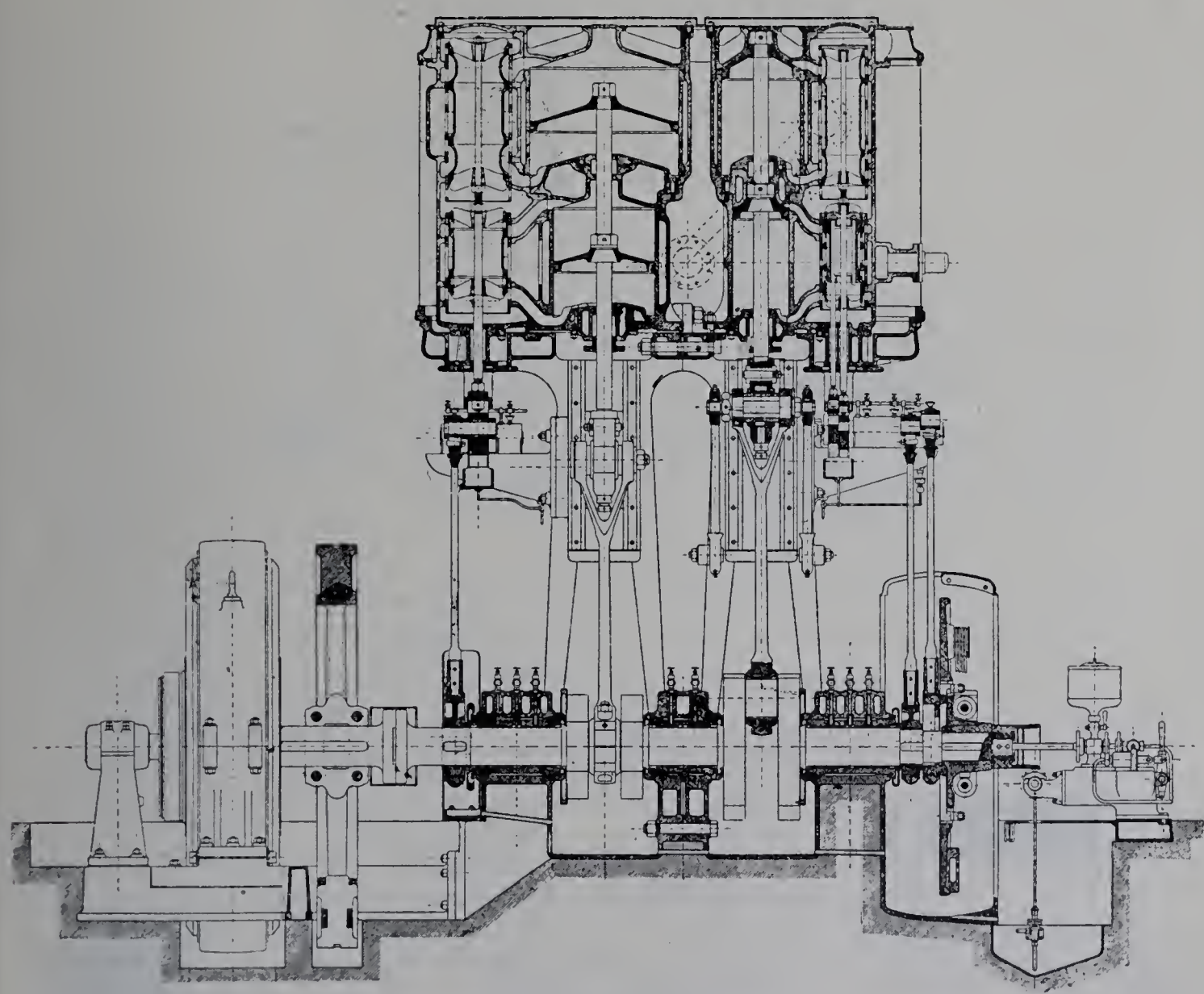


Fig. 582. — Coupe longitudinale.

La distribution est donnée par des tiroirs cylindriques, placés sur les côtés extérieurs, à droite et à gauche de l'ensemble. Les deux tiroirs de chaque ligne sont superposés et conduits par le même excentrique. Seul, le tiroir du cylindre n° 1 est intérieurement doublé d'un second tiroir concentrique, donnant une détente variable. Ce tiroir de détente est conduit par un excentrique à calage variable, placé sous la dépendance du régulateur.

Celui-ci est un régulateur du type volant, dont les masses centrifuges sont creuses; une pompe installée en prolongement de l'extrémité de l'arbre et communiquant avec le

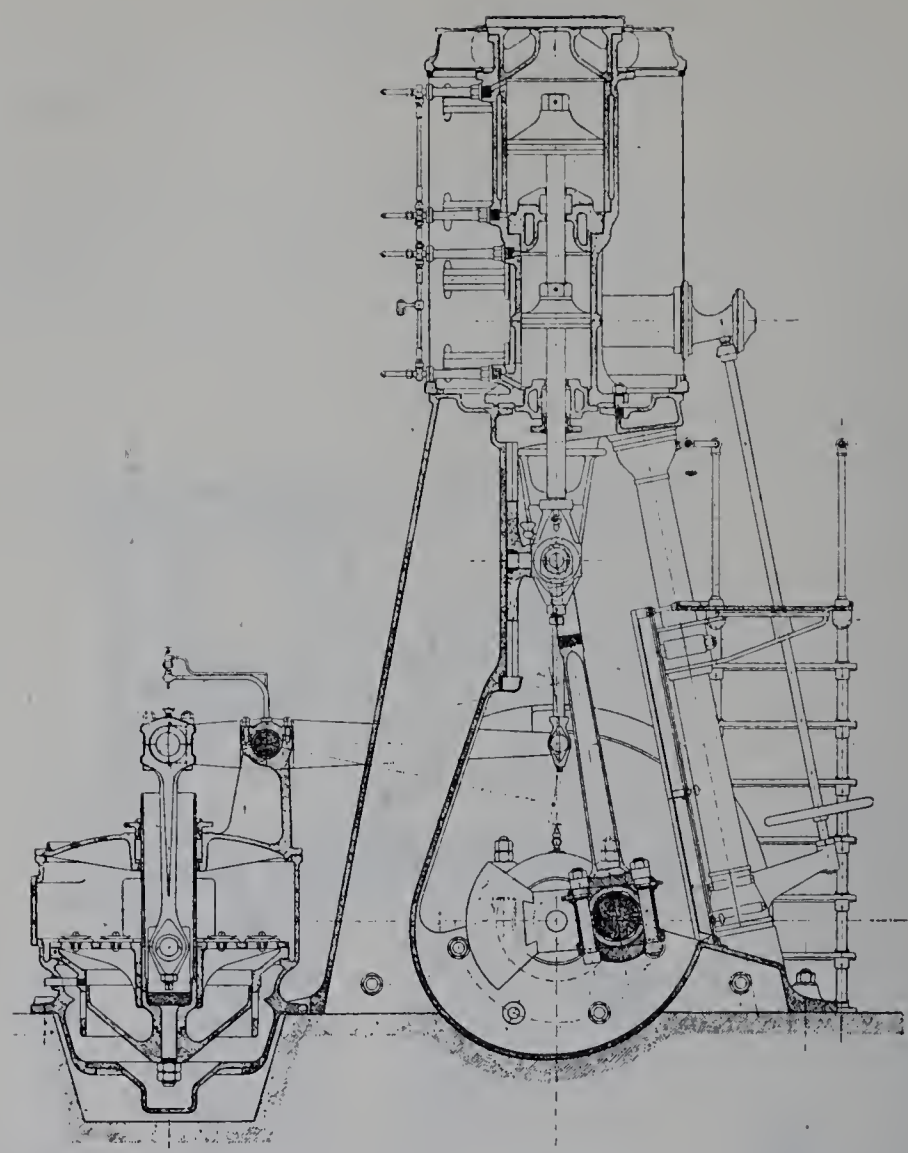


Fig. 583. — Coupe transversale par l'axe des cylindres n° 1 et n° 2.

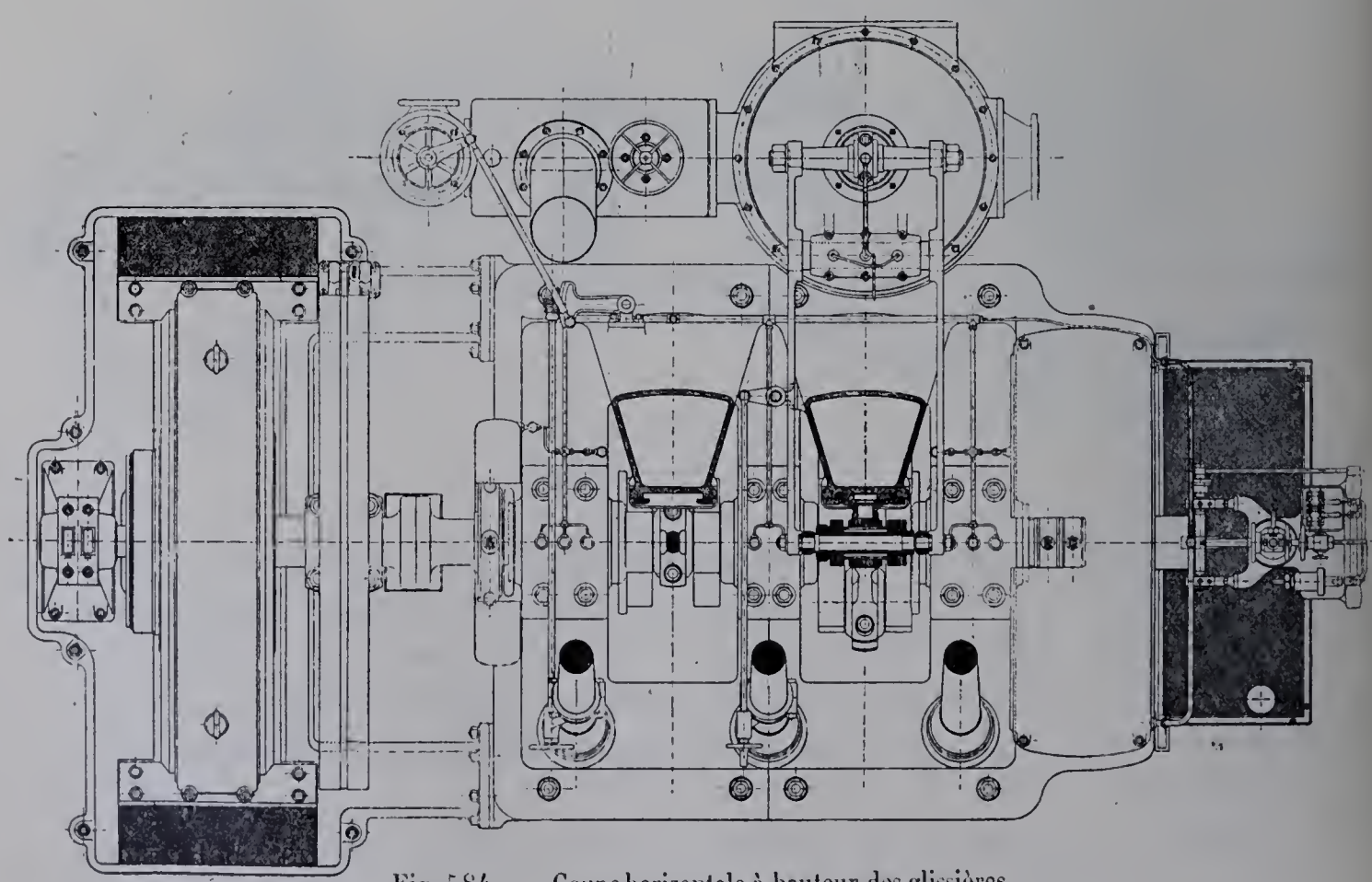


Fig. 584. — Coupe horizontale à hauteur des glissières.

système tournant par un tuyau axial permet d'injecter de la glycérine dans ces masses ou d'en retirer : on règle ainsi au cours du fonctionnement, sans troubler celui-ci par aucune impulsion parasite, la relation de la puissance avec la vitesse.

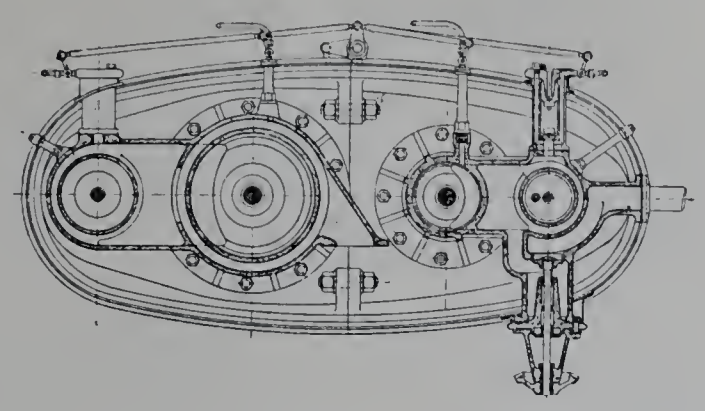


Fig. 585. — Coupe horizontale à hauteur des cylindres n° 1 et n° 3.

Moteur Bourdon. — Le moteur de 50 chevaux à 400 tours par minute, créé par M. Charles Bourdon et exécuté dans les ateliers de MM. H. Brûlé et Cie, à Paris, se distingue par des dispositions toutes particulières. Bien que la vapeur y subisse quatre expansions successives, il n'a que deux cylindres et deux pistons. Chacun de ceux-ci est à double effet; mais le fluide n'agit pas sur les deux faces dans le même état de détente. Ce sont des pistons dont la face inférieure est munie pour ainsi dire d'une très grosse tige, tandis que sur la face supérieure ne s'élève qu'une contre-tige mince.

La cylindrée est donc fort différente en dessous et en dessus; par suite, on obtient la quadruple expansion en faisant travailler la vapeur successivement dans le bas et dans le haut du petit cylindre, dans le bas et dans le haut du grand.

En réalité, chaque piston et sa grosse tige inférieure ne forme, suivant la disposition indiquée par la fig. 586, qu'une seule pièce de fonte affectant extérieurement la forme d'un champignon ou, si l'on aime mieux, d'un piston-disque ayant au-dessous de lui un piston plongeur. Le disque, muni de deux segments, va et vient dans le cylindre A à la manière habituelle; le plongeur joue dans une grosse tubulure cylindrique qui forme fourreau autour de lui et qui remplace l'orifice à presse-étoupe d'un cylindre ordinaire; l'étanchéité est assurée par deux segments qui cerclent l'extrémité inférieure de la pièce mobile.

Si D est le diamètre du cylindre et d celui du fourreau, la section utile du compartiment inférieur du cylindre est naturellement $\frac{\pi (D^2-d^2)}{4}$.

Nous dresserons donc ainsi qu'il suit le tableau des dimensions :

$$\begin{cases} D_1 = 0^m 24 \\ d_1 = 0\ 17 \end{cases} \qquad \begin{cases} D_2 = 0^m 400 \\ d_2 = 0\ 243 \end{cases}$$

$$\frac{D_1^2 - d_1^2}{1} = \frac{D_1^2}{2} = \frac{D_2^2 - d_2^2}{3.5} = \frac{D_2^2}{5.6}.$$

$$L = 0.30 \qquad N = 400 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m$$

L'accélération maximum des pistons s'élève ici à 263 m : s². Néanmoins les manivelles sont à 90 degrés. Cette petite machine, construite et installée comme le montrent les fig. 587 à 591, est solidement ossaturée par un bâti d'une seule pièce, sur lequel est boulonné le bloc formé par les cylindres, le réservoir intermédiaire et les boîtes de distribution.

Les pistons se trouvent tout naturellement guidés par les fourreaux qui forment allonge au-dessous des cylindres et dans lesquels patinent leurs segments inférieurs, de sorte que les bielles sont articulées directement sur eux, comme dans les machines à simple effet munies de pistons de grande longueur.

Ces pistons, qui offrent un développement de paroi relativement considérable, surtout pour les chambres inférieures des cylindres, sont intérieurement chauffés par de la vapeur vive. A cet effet, chacun d'eux est surmonté d'une contre-tige qui traverse par un presse-étoupe, à la manière ordinaire, le couvercle supérieur du cylindre, et qui aboutit dans un fourreau fermé, sorte de cloche en communication permanente avec l'arrivée de vapeur. Cette contre-tige est percée d'un canal axial qui permet à la vapeur vive d'accéder constamment dans la partie creuse du piston. Reste à assurer l'évacuation de l'eau de condensation qui s'y forme. A cet effet, un canal de purge part du bas de la partie creuse et aboutit latéralement au ras de la paroi cylindrique, entre les deux segments qui constituent la garniture inférieure (fig. 590). Tant que l'orifice va et vient le long de la paroi pleine du fourreau, l'eau accumulée dans ce canal de purge et au-dessus n'a pas d'issue. Mais, chaque fois que le piston arrive à l'extrémité inférieure de sa course, l'orifice mobile vient se présenter en face d'un orifice fixe percé dans le fourreau. Un crachement se fait, qui chasse l'eau condensée, et auquel d'ailleurs le déplacement ascendant du piston ne tarde pas à mettre fin. Tout se passe comme si, à chaque tour de la machine, on ouvrait pendant un instant un robinet purgeur. Le tuyau d'évacuation fixe est d'ailleurs muni d'un robinet à main permettant de l'étrangler plus ou moins, de manière à proportionner la valeur de chaque évacuation à la quantité d'eau qui se forme et à assurer ainsi l'asséchement du piston sans perte inutile de vapeur.

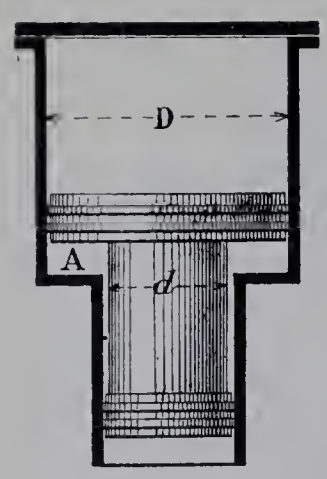


Fig. 586. — Principe de la disposition des pistons et des cylindres dans la machine de M. Charles Bourdon.

Les deux chambres superposées d'un même cylindre fonctionnent comme deux cylindres successifs à mouvements de pistons concordants et sans réservoir intermédiaire, suivant le système Woolf; au contraire, entre un groupe et l'autre, il y a un réservoir intermédiaire.

Celui-ci est pourvu (fig. 591) d'un système de réchauffage par la vapeur vive : il renferme un faisceau de 18 tubes en U dans lesquels cette vapeur a accès et qu'un purgeur automatique assèche continuellement.

La distribution est obtenue pour toute la machine au moyen de deux tiroirs, placés comme d'habitude aux extrémités du bloc.

Fig. 587. — Machine à quadruple expansion de M. Charles Bourdon, construite par MM. H. Brûlé et Cie.
Coupe longitudinale.

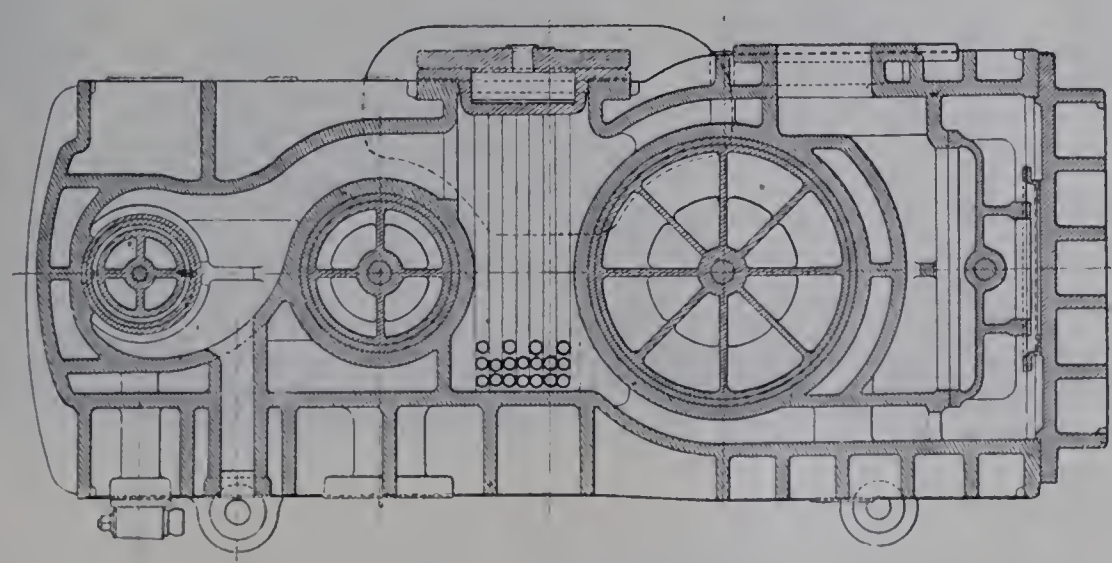


Fig. 588. — Coupe horizontale.

Au petit cylindre, c'est un tiroir cylindrique. Ce tiroir comprend trois bagues frottantes : les deux extrêmes jouent sur les lumières C et F (fig. 587), tandis que celle

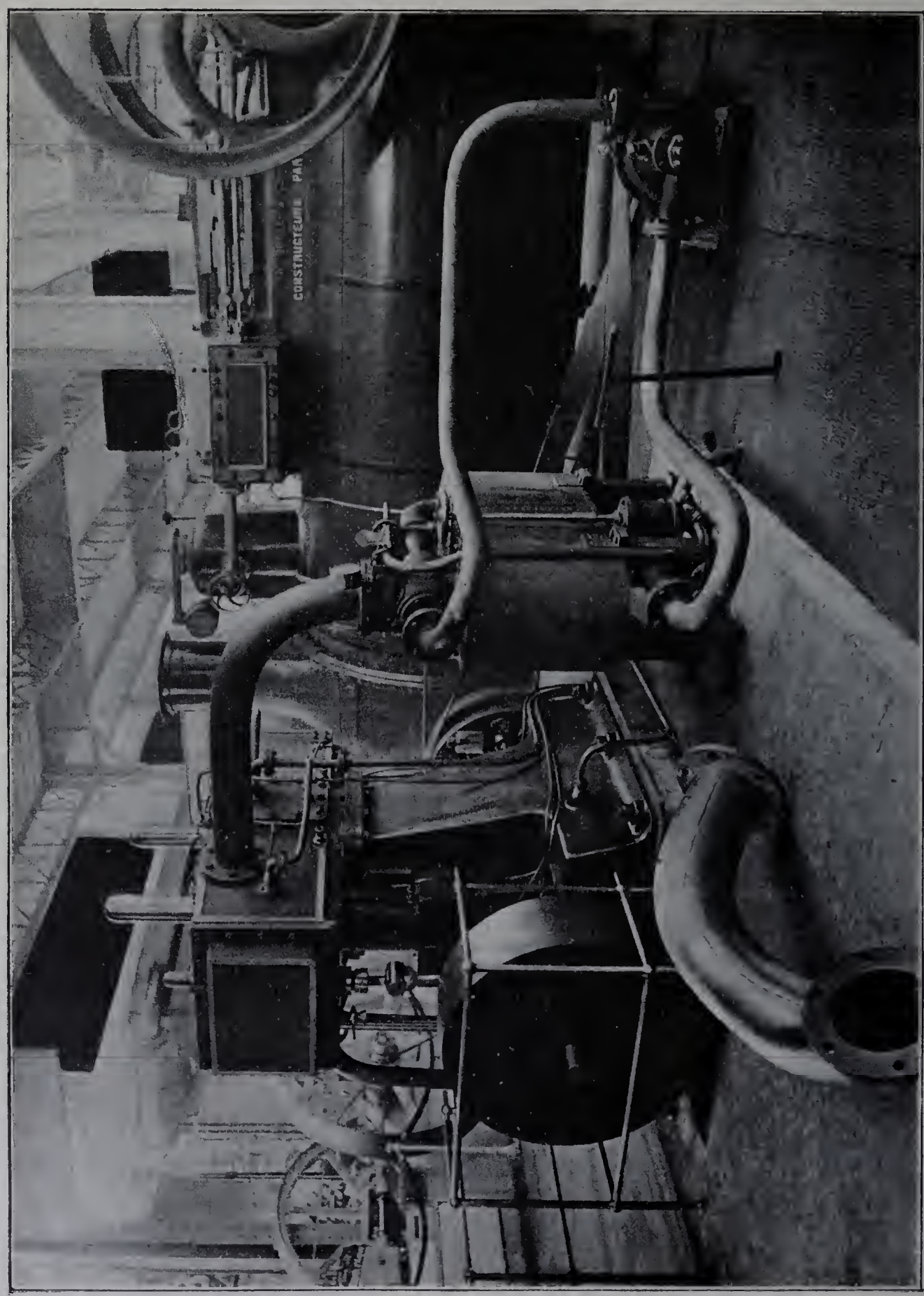


Fig. 589. — Vue de la machine Bourdon à quadruple expansion et de son condenseur.

du milieu sépare constamment le vide axial du tiroir (formant conduit intermédiaire entre les deux chambres du cylindre) d'avec un espace annulaire qui communique en

permanence avec l'échappement. La vapeur vive, qui n'a jamais à être admise que dans la lumière inférieure G, accède sous la bague du bas. Celle-ci met la lumière G alternativement en communication avec la vapeur vive et avec le vide axial du tiroir. La bague du haut met la lumière F alternativement en communication avec l'échappement et avec ce même vide axial.

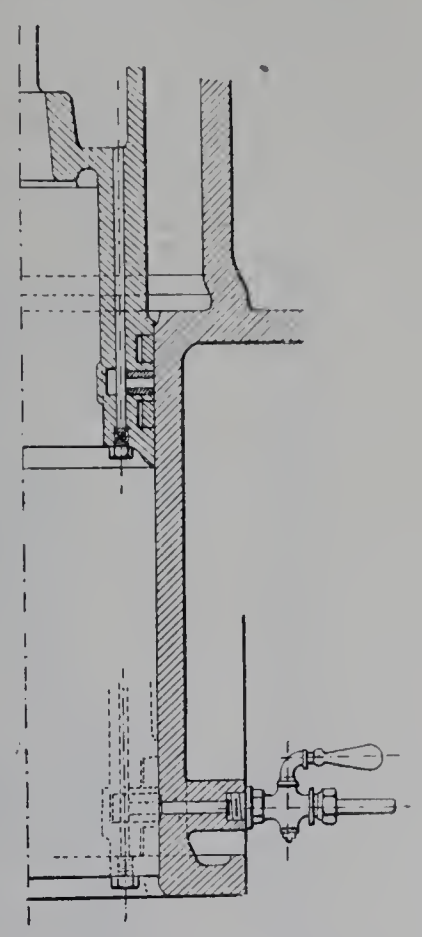


Fig. 590. — Dispositions relatives à la purge du piston.

Au grand cylindre, le tiroir est plan et satisfait à un programme identique. Abstraction faite de ce détail que la distribution de la chambre inférieure a lieu par une lumière double, on pourrait dire que ce tiroir comprend deux bandes frottantes, dont l'une met la lumière du bas alternativement en communication avec l'arrivée de vapeur et avec la lumière du haut, tandis que l'autre ouvre et ferme alternativement la communication de celle-ci avec l'échappement. Sur le tiroir pèse continuellement la pression de la vapeur arrivant au groupe, c'est-à-dire la pression du *receiver;* le dessous du tiroir est en relation permanente avec la lumière du haut. La légère complication de forme du tiroir, résultant de ce que la lumière du bas est double, se comprend à première vue sur le dessin.

Les excentriques actionnant les deux tiroirs sont placés de part et d'autre des paliers extérieurs de l'arbre coudé. Celui-ci porte deux volants en porte-à-faux sur ses extrémités. Du côté de la haute pression, c'est un volant régulateur, qui gouverne le calage de l'excentrique du tiroir

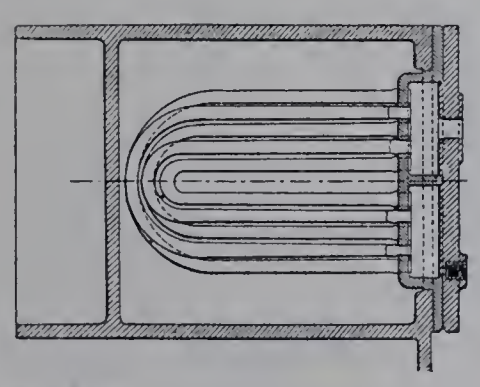


Fig. 591. — Coupe verticale du réservoir intermédiaire.

cylindrique. De l'autre côté c'est une simple poulie-volant, l'excentrique du tiroir plan étant à calage fixe.

§ 2. Machines à simple effet.

Système Willans-Robinson. — Quand la vitesse de rotation s'accroît au point que les chocs consécutifs aux renversements des efforts de bielles deviendraient une difficulté sérieuse, l'emploi de machines à simple effet permet d'éviter ces renversements.

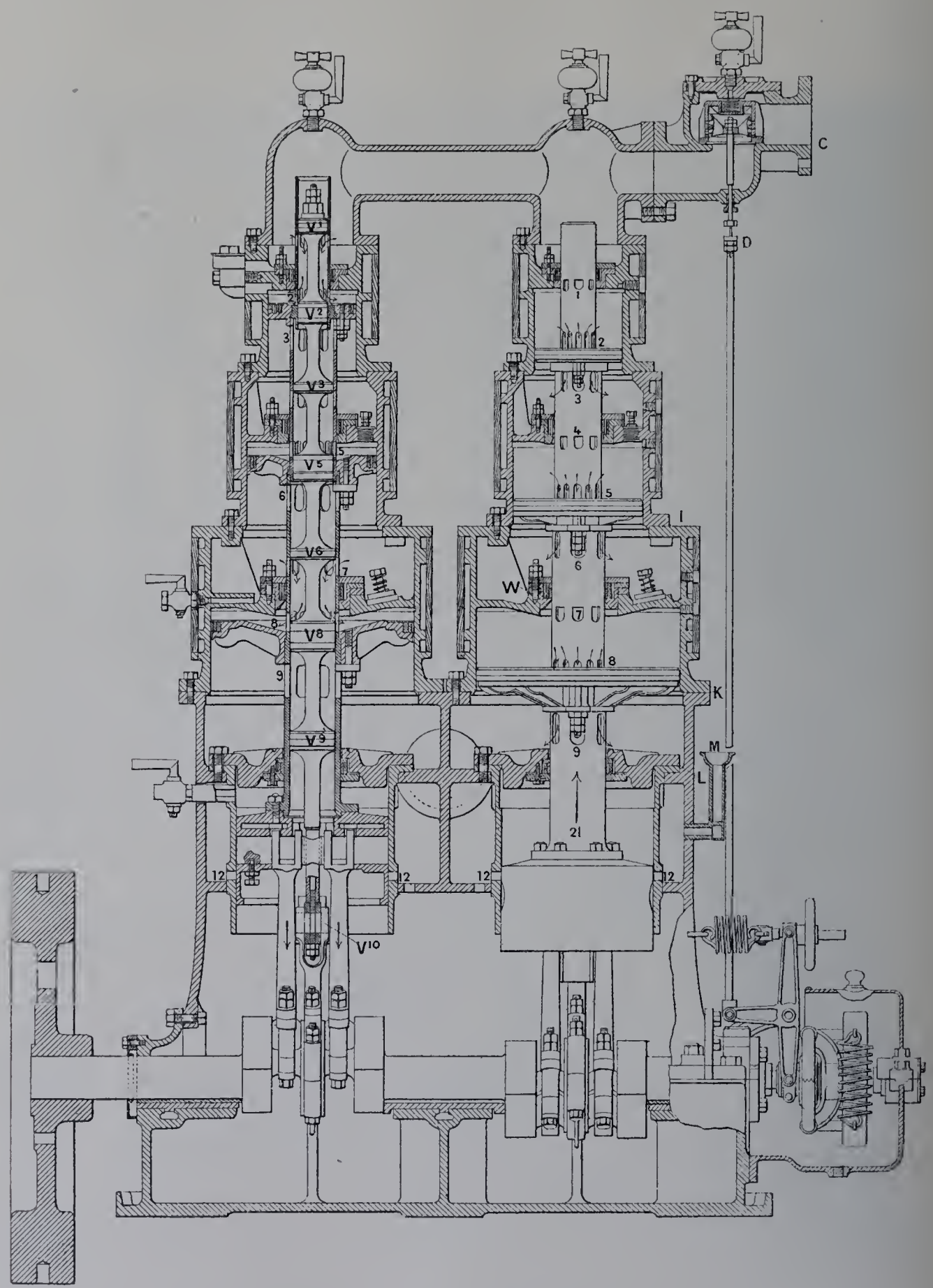


Fig. 592. — Machine à triple expansion de MM. Willans et Robinson (diffère de la machine exposée en ce que celle-ci est à trois lignes de cylindres et a son régulateur disposé différemment, ainsi que l'indiquent les fig. 594 et 595).

Toutefois, pour assurer complètement ce résultat, il ne suffirait pas de mettre, dans une machine verticale ordinaire, la face inférieure du piston en communication permanente avec l'atmosphère et de faire travailler la vapeur sur la face supérieure seule. Il s'agit en effet, par hypothèse, d'une machine rapide : les forces d'inertie résultant des accélérations du piston, de sa tige et de la crosse ont des valeurs élevées; or ces forces changent de sens vers le milieu de chaque course; pendant la seconde partie de la course de retour et au début de celle de l'aller, elles imposeraient aux efforts sur le pied de bielle un signe contraire à celui que l'on se propose de maintenir. Les mêmes causes, auxquelles s'ajouterait l'inertie de la bielle elle-même, agiraient pour renverser périodiquement le sens des forces sur le tourillon de manivelle et sur les coussinets de l'arbre.

Il convient donc qu'une force auxiliaire, dont le travail peut être nul au bout d'un tour, agisse sur le pied de bielle dans le même sens que la vapeur motrice pour conserver continuellement le signe + aux efforts exercés dans cette direction.

Le poids du piston et de sa tige fournit une fraction de la force auxiliaire désirée. Mais, comme il faut alléger le plus possible ces pièces pour réduire les forces d'inertie elles-mêmes, ce n'est là qu'un commencement de solution.

La solution complète est assurée par un artifice qui constitue l'un des traits les plus intéressants du système Willans. Dans les premières machines de P. W. Willans, la force auxiliaire était empruntée à la vapeur vive; aujourd'hui, suivant la combinaison imaginée par M. Mark Robinson, elle est produite par un matelas d'air, alternativement comprimé et détendu au-dessus d'un piston spécial. Ce piston est monté sur la tige du ou des pistons à vapeur, au voisinage de la crosse, et la force exercée sur lui par la pression de l'air est constamment de sens et de valeur convenable pour surmonter la force d'inertie tendant à entraîner la tige vers le haut; elle passe par son maximum, ainsi qu'il convient, quand cette tige est au sommet de sa course. La compensation est indépendante de la pression de la vapeur et des circonstances de la distribution; elle a, pour une vitesse de rotation donnée, même efficacité à toute charge.

Un autre trait caractéristique des moteurs Willans est le système de distribution, par tiroir cylindrique axial (*central valve*).

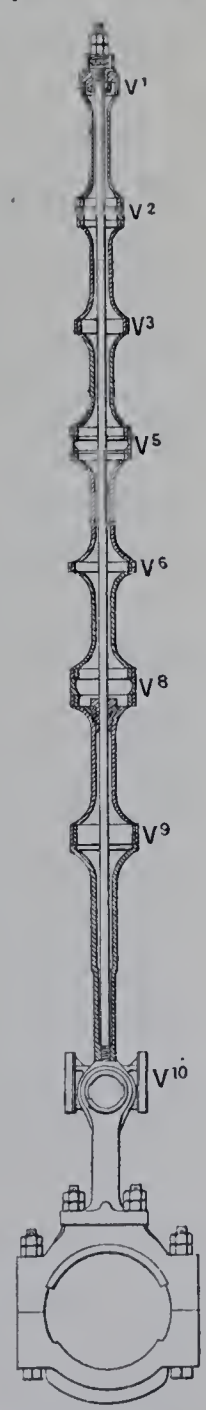


Fig. 593.
Tiroir axial.

Dans chaque ligne de cylindres successifs superposés, les pistons moteurs sont portés par une tige creuse (voir la fig. 592); qui sert de canal à la vapeur tant pour l'admission que pour l'échappement. A l'intérieur de cette tige va et vient un tiroir cylindrique formé d'une suite de pistons obturateurs et représenté à part sur la fig. 593. Les circonstances de la distribution dépendent à la fois du mouvement relatif du tiroir par rapport à la tige creuse et des déplacements de celle-ci par rapport aux pièces fixes.

La vapeur travaillant exclusivement sur la face supérieure de chaque piston, chaque cylindre n'a qu'un fond, le fond supérieur, percé d'un orifice à presse-étoupe pour le passage de la tige commune. Vers le bas, le cylindre demeure entièrement ouvert et se continue par une partie élargie, ayant le diamètre du cylindre suivant, jusqu'à la cloison qui constitue le fond supérieur de celui-ci. L'espace compris entre la face inférieure du piston et le fond du cylindre sous-jacent constitue un réservoir, de capacité variable selon la position du piston, mais toujours notable : c'est le réservoir intermédiaire entre les deux cylindres successifs.

Au-dessus du premier cylindre, c'est la chambre d'arrivée de la vapeur vive; au-dessous du dernier, la chambre d'exhaustion.

La tige creuse est percée, pour la distribution dans chaque cylindre, de trois couronnes de lumières : l'une immédiatement au-dessus du piston, c'est par là que la vapeur arrive dans le cylindre et en sort; une autre plus haut, mettant la tige creuse en communication avec la chambre de vapeur vive (si c'est du premier cylindre qu'il s'agit) ou avec le réservoir intermédiaire d'amont; la troisième plus bas, mettant la tige creuse en communication permanente avec le réservoir intermédiaire d'aval ou (s'il s'agit du dernier cylindre) avec la chambre d'exhaustion. Dans la tige creuse, l'un des pistons V du tiroir axial joue sur la couronne de lumières médiane, mettant ces lumières en relation tantôt avec le haut par où se fait l'arrivée de vapeur, tantôt avec le bas (direction de l'échappement) et les obturant lorsqu'il passe sur elles : l'épaisseur de ce piston distributeur et son mouvement relatif sont étudiés absolument comme s'il s'agissait d'un tiroir cylindrique ordinaire donnant une distribution à longue admission, 70 p. 100 par exemple.

Si telle devait être réellement la longueur de l'admission, la description du mécanisme de distribution serait bien près d'être achevée. Il resterait simplement à ajouter que, au-dessus et au-dessous de la triple série de lumières dont nous venons de parler, la tige creuse se trouve cloisonnée par des pistons obturateurs, qui font partie du tiroir axial de distribution, mais dont le rôle se borne à diviser la tige creuse en sections correspondant aux différents cylindres et à équilibrer le tiroir.

Mais il faut, comme dans les distributions à deux tiroirs superposés, couper l'admission avant que le mécanisme ci-dessus la produise. On utilise comme tiroir de détente la tige creuse elle-même. Il suffit que la couronne de lumières supérieure correspondant à chaque cylindre (celle par où pénètre dans la tige creuse la vapeur du réservoir d'amont) se trouve bouchée à point nommé pendant la course descendante du piston : à cet effet, le presse-étoupe du fond de cylindre est d'une hauteur suffisante pour que les lumières, en s'abaissant, soient masquées par ce presse-étoupe aussitôt qu'il convient de mettre fin à l'admission.

On obtient ainsi une distribution à détente fixe. On peut aussi, dans le cylindre de haute pression, réaliser une détente variable, en chargeant de la fermeture des lumières supérieures de la tige creuse, dans la chambre d'arrivée de la vapeur vive, non le presse-étoupe, mais une gaîne à orientation variable, percée elle-même de lumières :

en donnant une forme hélicoïdale aux lumières, tant de la tige creuse que la gaîne, on rend variable avec l'orientation de celle-ci l'instant de la fermeture, suivant un principe analogue à celui des tiroirs Rider.

Mais le plus souvent (et il en est ainsi dans la machine de l'Exposition) la détente est fixe à tous les cylindres et les variations de la puissance sont obtenues par étranglement de vapeur. Une vanne cylindrique équilibrée est interposée sur la conduite, immédiatement à l'amont de la machine, et placée sous la dépendance du régulateur à force centrifuge.

Il est à noter que le trajet général de la vapeur dans la machine est constamment descendant et que l'eau de condensation formée dans chaque cylindre, après s'être rassemblée sur le piston dont la face supérieure est en forme de cuvette, se trouve entraînée par les lumières pendant l'échappement.

Nous avons fait remarquer que le réservoir intermédiaire entre un cylindre et le suivant, étant compris entre la face inférieure du piston de l'un et le fond fixe de l'autre, est de capacité variable. L'augmentation de cette capacité, durant la course ascendante, est juste ce qu'il faut pour que le passage du fluide de la face supérieure à la face inférieure du piston soit un simple transvasement, sans variation de pression et sans travail.

Un matelas d'air, suivant le principe indiqué plus haut, est chargé d'opposer son action aux forces d'inertie de la fin de course ascendante. A cet effet, à l'extrémité inférieure de la tige creuse, un long piston en forme de cloche se meut dans un cylindre spécial. Ce cylindre et son piston sont disposés de manière à faire office de glissière et de patin; sous le piston sont attelées, par un palonnier à rotules, deux bielles motrices jumelles. Le dédoublement de la bielle est nécessaire pour réserver la partie centrale de la manivelle à l'excentrique qui conduit le tiroir axial de distribution.

Les machines de ce système se construisent sur toute l'échelle des puissances, depuis 75 jusqu'à 2,500 chevaux; elles se composent soit de deux, soit de trois lignes de cylindres; chaque ligne comprend deux ou trois cylindres, suivant que la machine est à double ou à triple expansion.

L'ensemble est extrêmement robuste et compact. Toute la partie inférieure est enveloppée d'un bâti-cuirasse, à l'intérieur duquel est un bain d'huile. L'arbre repose sur de longs paliers, qui ne laissent entre eux que l'espace des coudes de l'arbre; ces paliers n'ont pas besoin de chapeau, la poussée verticale étant toujours de même signe. Le bain d'huile s'élève jusqu'aux coussinets de ces paliers. Dans le même bain barbotent énergiquement les têtes de bielles.

Le moteur de l'Exposition est le plus puissant exemplaire du type que les ateliers de la Société Willans et Robinson, à Rugby, aient construit jusqu'à ce jour. Il est à triple expansion et à trois lignes de cylindres. Sa puissance est de 2,400 chevaux en régime prolongé, pouvant être poussée momentanément à 3.000 chevaux; sa vitesse angulaire est de 200 tours par minute. Ces chiffres supposent une pression initiale de 10 kilogrammes par centimètre carré.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Voici le tableau des dimensions :

$$D_1 = D'_1 = D''_1 = 0^m 48 \qquad \frac{L}{D_1} = 1.25$$

$$D_2 = D'_2 = D''_2 = 0\ 77$$

$$D_3 = D'_3 = D''_3 = 1\ 25 \qquad \frac{D_1^2}{1} = \frac{D_2^2}{2.6} = \frac{D_3^2}{6.8}$$

$$L = 0\ 60$$

$$N = 200 \qquad \frac{2LN}{60} = 4^m$$

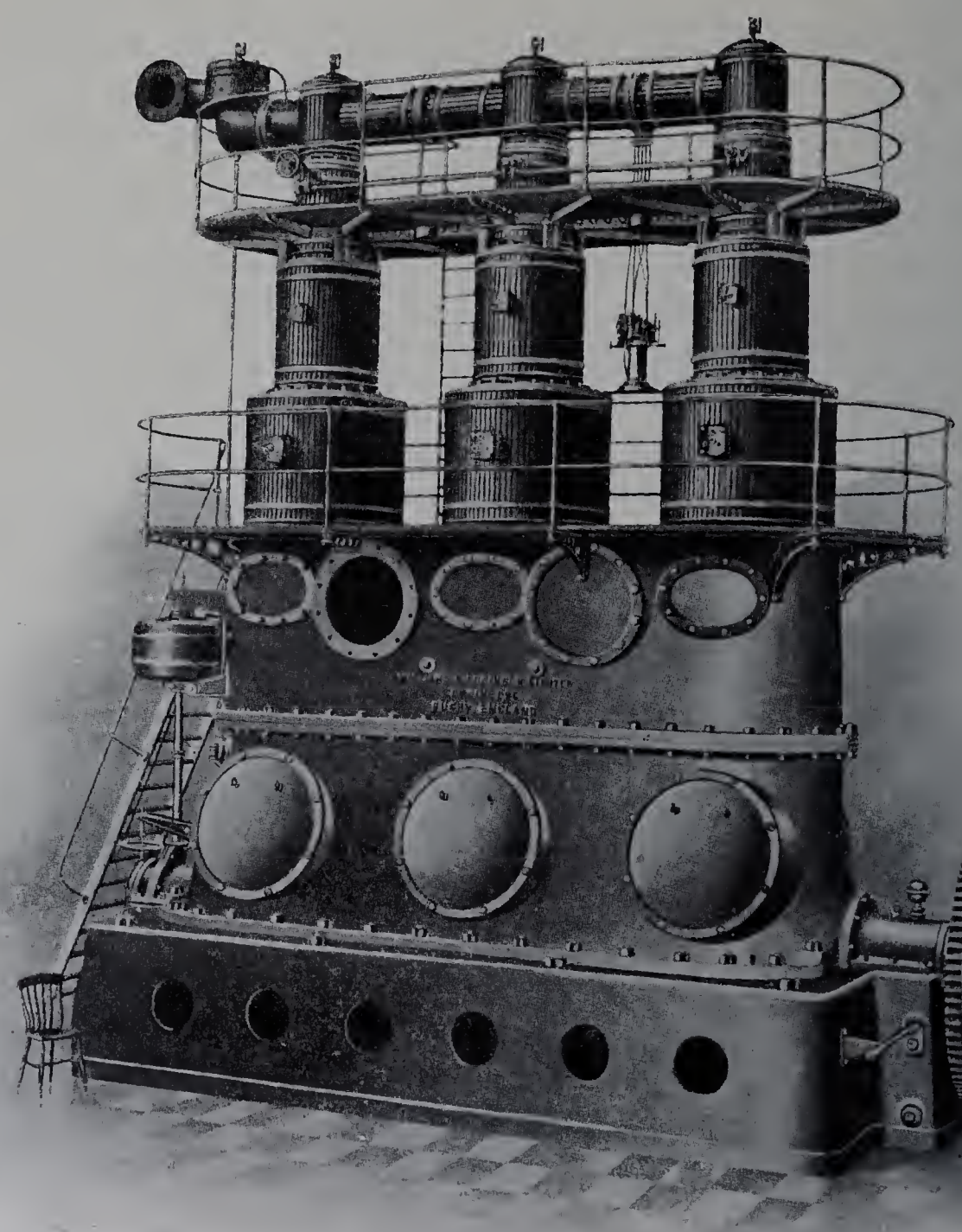


Fig. 594. — Machine à triple expansion et à trois lignes de cylindres, de MM. Willans et Robinson.

L'accélération maximum des pistons est de 132 m : s^2.

Dans cette grande machine, dont les fig. 594 et 595 montrent l'aspect, le socle

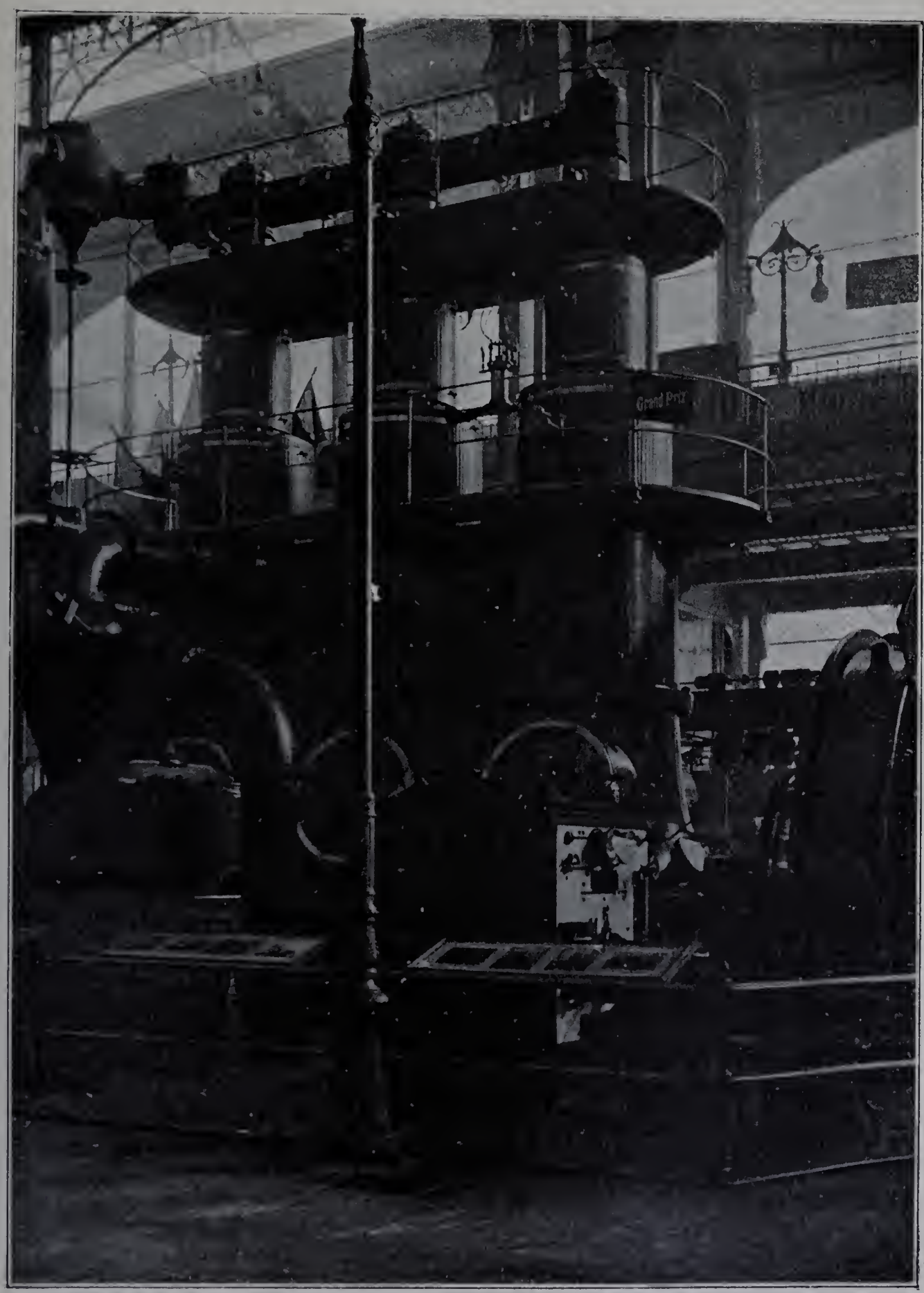


Fig. 595. — Vue de la machine Willans et Robinson.

inférieur, comprenant le bain d'huile, est partagé longitudinalement en deux parties, du poids de 15 tonnes chacune, boulonnées ensemble. Sur ce socle viennent s'assembler, d'abord la chambre des manivelles, construite de manière à permettre le démontage des bielles, puis la chambre d'exhaustion, faite d'une seule pièce de fonte et servant de support immédiat aux cylindres.

Le poids total du moteur est de 120 tonnes, soit 50 kilogrammes par cheval; il n'occupe qu'un emplacement horizontal de 32 mètres carrés, soit, par cheval, un décimètre carré un tiers.

La machine actionne une dynamo construite par MM. Siemens frères, de Londres, et débitant normalement 2,780 ampères sous 550 volts, soit une puissance de 1,530 kilowatts, susceptible d'une augmentation temporaire de 20 p. 100. L'induit, mesurant 2 m. 75 de diamètre extérieur, ce qui lui donne une vitesse périphérique de 29 mètres par seconde, pèse 29 tonnes. Il est disposé à l'une des extrémités de l'arbre du moteur, entre le plateau terminal de l'arbre coudé et un palier monté sur rails. Il constitue seul le volant de la machine.

Le régulateur à force centrifuge se compose de deux masses qu'un fort ressort à boudin relie l'une à l'autre et tend à rapprocher. Leur écartement déplace le long de l'axe de rotation une bague non tournante, dont les mouvements sont transmis à la vanne régulatrice. Sur cette bague agit axialement, dans le sens du déplacement qui correspond à l'écartement des masses, un levier sollicité par un ressort auxiliaire dont la tension est réglable au moyen d'un volant à main. L'influence de ce ressort vient en déduction de celle du ressort à boudin principal. Il résulte de cet arrangement que les pièces du mécanisme sont toujours en tension dans le même sens, sans jeu.

Sur les moteurs Willans de moyenne puissance, ce régulateur est couché horizontalement et coiffe l'une des extrémités de l'arbre, dont la grande vitesse angulaire permet cette installation directe. Lorsqu'il s'agit, comme ici, d'une machine de grandes dimensions, MM. Willans et Robinson multiplient la vitesse angulaire du régulateur en le commandant par engrenage; son axe est alors disposé verticalement.

MM. van den Kerchove, de Gand, sont aussi constructeurs des moteurs du système Willans-Robinson. Ils en ont exposé deux exemplaires, formant groupes électrogènes avec des dynamos à courant continu de la Compagnie internationale d'électricité de Liège.

L'un de ces groupes est de 135 kilowatts; il tourne à 460 tours par minute. Le moteur est à double expansion et à trois lignes de cylindres; ses données caractéristiques sont les suivantes :

$$D_1 = D'_1 = D''_1 = 0^m 28 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.54$$
$$D_2 = D'_2 = D''_2 = 0\ 40 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2$$
$$L = 0\ 15 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 35$$
$$N = 460$$

La valeur de $r\omega^2$ atteint ici 174 m : s².

L'autre groupe n'est appelé à développer que 45 kilowatts, à 470 tours. Le moteur, à

double expansion comme le précédent, comprend seulement deux lignes de cylindres; les dimensions sont :

$$D_1 = D'_1 = 0^m 24 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.58$$
$$D_2 = D'_2 = 0\ 34 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2$$
$$L = 0\ 14 \qquad N = 470 \qquad \frac{2LN}{60} = 2^m 2$$

D'où $r\omega^2 = 169$.

La disposition générale est la même pour ces deux groupes. La dynamo a son axe en prolongement de l'arbre du moteur et le tout est installé sur un seul et même socle. A l'extrémité libre de l'arbre coudé se trouve le régulateur agissant sur la vanne d'étranglement.

Système Carels. — C'est d'après les mêmes principes dynamiques que sont établis les moteurs verticaux, système Carels, construits par la Société anonyme des moteurs à grande vitesse de Sclessin (Belgique) : on y trouve les cylindres successifs étagés sur une même ligne, les pistons travaillant à simple effet, de haut en bas, et le sens des efforts de la bielle maintenu invariable par un matelas d'air. Comme dans les machines Willans, ce matelas est renfermé dans un cylindre formant glissière pour la tête de tige des pistons.

Le système diffère surtout quant aux organes de distribution. Le moteur se compose (fig. 596) de deux lignes de cylindres juxtaposés, les deux cylindres d'un même étage fondus en un seul bloc; les deux manivelles sont à 180 degrés; la distribution est donnée simultanément aux deux lignes de cylindres par un tiroir tournant, logé entre elles.

Les dispositions d'un tiroir tournant, pour une machine à simple effet, sont faciles à imaginer. Il suffit que, au droit de chaque lumière, la rotation fasse successivement défiler une fenêtre en communication avec l'arrivée de vapeur, une autre en communication avec l'échappement, et ainsi de suite.

Un cloisonnement intérieur de la pièce tournante assure aisément ce résultat. Si cette pièce présentait seulement une fenêtre d'admission et une d'échappement, sa vitesse de rotation devrait être égale à celle de l'arbre de la machine; mais elle peut aussi en être seulement la fraction $\frac{1}{n}$, si la périphérie du tiroir compte n fenêtres de chaque espèce.

D'autre part, l'organe de distribution ainsi constitué peut desservir à la fois plusieurs cylindres à effets déphasés, pourvu que les lumières de ces cylindres s'ouvrent dans la gaîne du tiroir à des intervalles angulaires convenables.

Dans l'espèce, les lumières qui mettent les deux cylindres d'un même étage en communication avec la gaîne du tiroir aboutissent à celle-ci dans deux azimuts différant de 90 degrés; le tiroir forme au droit de ces lumières une lanterne cylindrique percée de quatre fenêtres, symétriques deux à deux par rapport à l'axe; son cloisonnement intérieur fait communiquer deux de ces lumières avec le haut (arrivée de vapeur), les deux autres avec le bas (direction de l'échappement). Il suffit donc au tiroir d'une

rotation de 90 degrés pour inverser son action sur les deux cylindres et d'un demi-tour pour opérer dans chacun d'eux la distribution correspondant à une période complète. En conséquence, la vitesse angulaire de l'axe du tiroir est moitié de celle de la machine. Cet axe repose sur une crapaudine à billes; à son extrémité supérieure une certaine

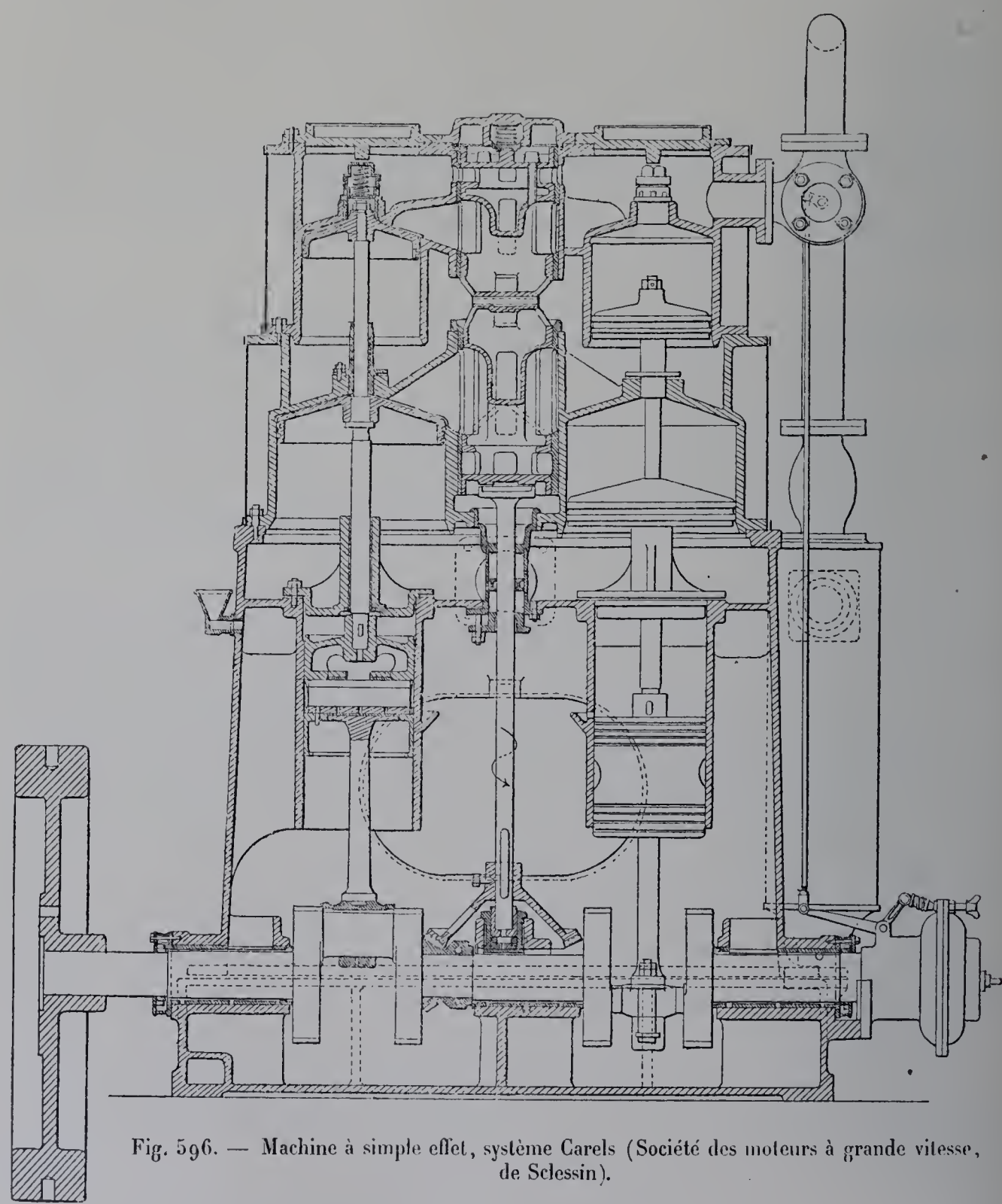


Fig. 596. — Machine à simple effet, système Carels (Société des moteurs à grande vitesse, de Sclessin).

pression est exercée sur lui par une seconde couronne de billes sur laquelle un disque d'acier est pressé par un ressort. Le mouvement de l'organe rotatif est pris sur l'arbre au moyen d'un engrenage d'angle à roue de fonte et pignon de bronze.

L'arbre coudé est porté sur trois longs paliers au moyen de coussinets garnis de métal blanc. La partie inférieure du socle forme bain d'huile. Ce socle se prolonge en

hauteur par un bâti-cuirasse avec lequel sont venus de fonte les cylindres-glissières; au-dessus viennent s'étager les cylindres à vapeur. Le fond par lequel chacun de ceux-ci se termine à sa partie supérieure est venu de fonte avec le reste. Les passages de la tige des pistons ne sont pas munis de presse-étoupe, mais de simples fourreaux rainurés transversalement et faits d'un bronze spécial. Le logement cylindrique dans lequel tourne le tiroir de distribution est doublé d'une chemise de bronze. La tige tournante sur laquelle ce tiroir est porté traverse la chambre d'exhaustion par un presse-étoupe à deux garnitures superposées (fig. 597), avec anneau intermédiaire y et orifices d'écoulement latéraux.

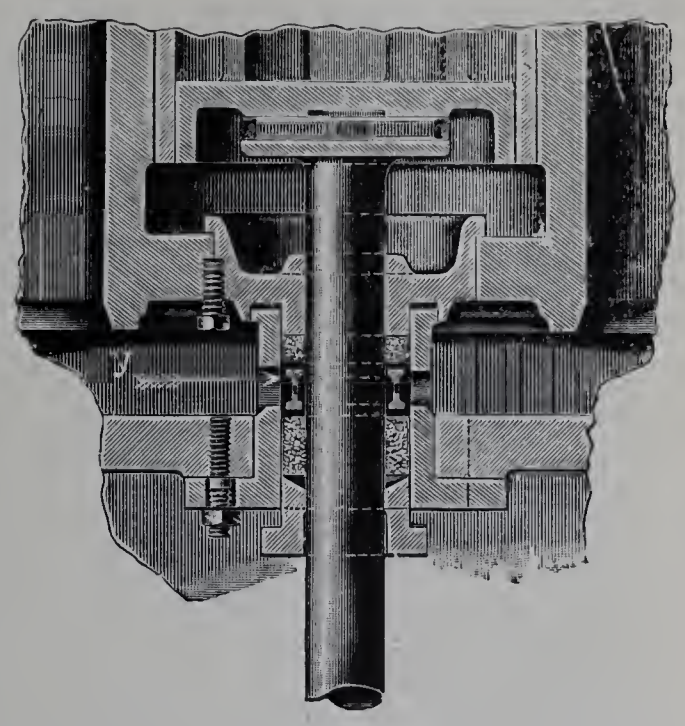


Fig. 597. — Garniture de la tige du tiroir tournant.

C'est dans ce système que sont établis deux moteurs de 380 chevaux à 325 tours par minute, affectés au service de la tour du Champ de Mars. La Société des moteurs à grande vitesse en expose en outre un exemplaire de 200 chevaux, associé à une dynamo de la Société « Électricité et Hydraulique », une de 100 chevaux formant groupe électrogène avec une dynamo de la Société Jaspar; enfin une petite machine du même système, mais de 10 chevaux seulement, est présentée démontée pour en laisser voir les organes.

Système Mertz. — Les moteurs verticaux à simple effet de M. Émile Mertz font travailler successivement la vapeur dans deux cylindres superposés. Suivant le principe du simple effet, la différence des pressions sur les deux faces de chaque piston agit toujours dans le même sens. Pourtant un travail positif se trouve, au bout d'un tour, engendré sur l'une et l'autre face : le moteur a pour diagramme totalisé la superposition de quatre diagrammes. Mais la deuxième face de chaque piston n'engendre qu'un volume égal ou même inférieur à celui engendré par la première.

La vapeur vive est amenée au-dessus du petit piston. Elle travaille sur cette face, par pleine pression d'abord et ensuite par détente, à la manière habituelle. Quand la course descendante est sur le point de s'achever, le tiroir met en communication la lumière du haut avec un canal qui fait, en permanence, partie de la lumière du bas.

Durant la plus grande partie de la course ascendante du piston, cette communication demeure ouverte et il se fait un transvasement d'une face à l'autre, sans variation notable de pression. Puis, un temps convenable avant la fin de l'excursion, le tiroir interrompt le passage : la montée s'achève par une compression au-dessus du piston, par une détente au-dessous, de sorte que la différence des pressions produit une résistance croissante.

Quand la course ascendante est sur le point de finir, le système distributeur met en relation la face inférieure du petit piston avec la face supérieure du grand. Durant une partie de la course descendante, cette communication demeure ouverte et, comme la

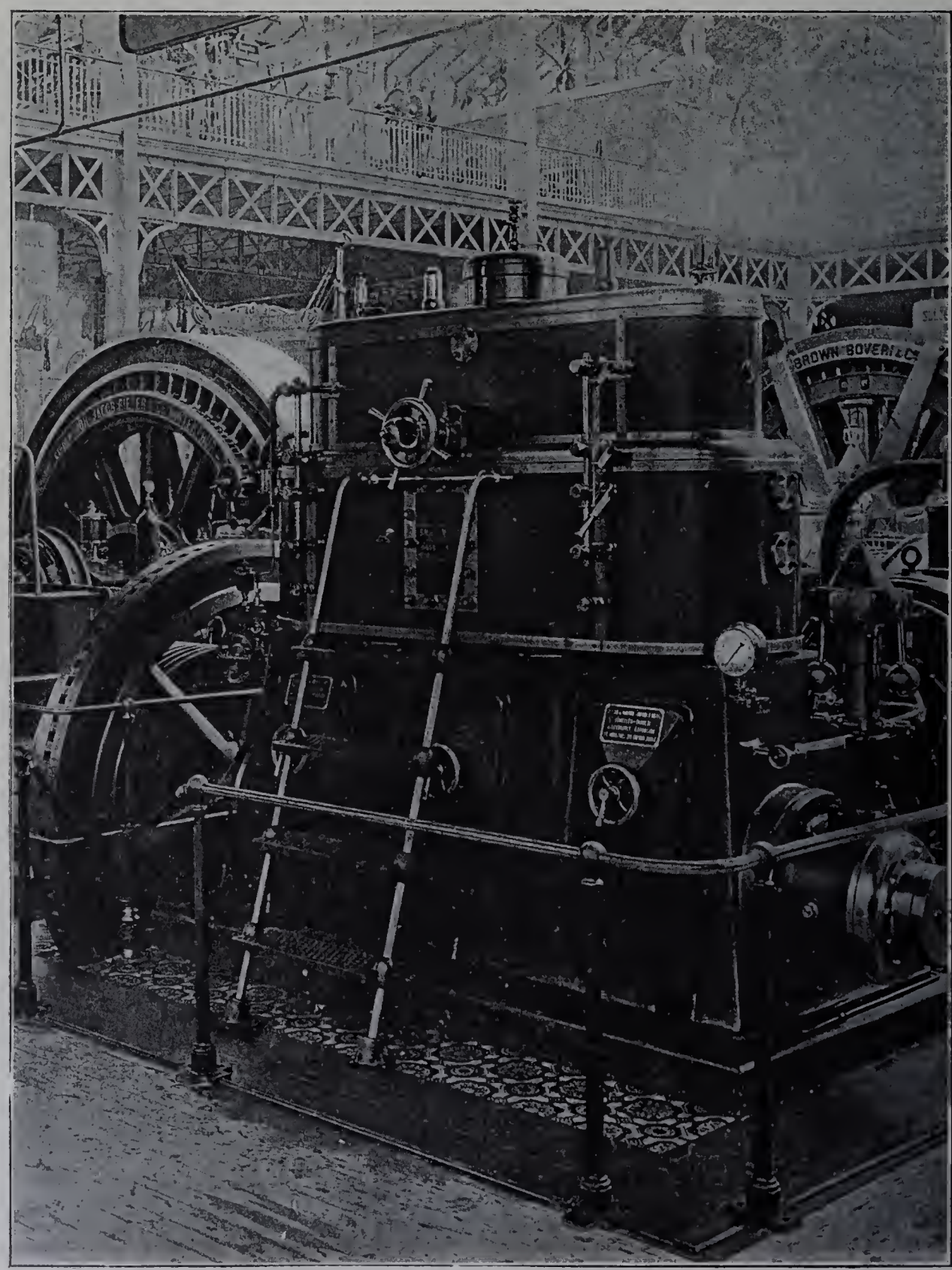


Fig. 598. — Moteur à simple effet de 180 chevaux effectifs à 320 tours par minute, de M. Emile Mertz.

capacité comprise entre les deux pistons augmente à cause de l'inégalité des volumes qu'ils engendrent, la vapeur travaille par détente suivant le système de Woolf. Un certain temps avant l'achèvement de la course, la communication est interrompue : l'excursion

descendante s'achève par une compression sous le petit piston, par une détente sur le grand.

Les choses se passent dans le grand cylindre de la même manière que dans le petit durant la course ascendante : il y a pendant la plus grande partie du temps communication entre les deux extrémités du cylindre et transvasement de la vapeur de haut en

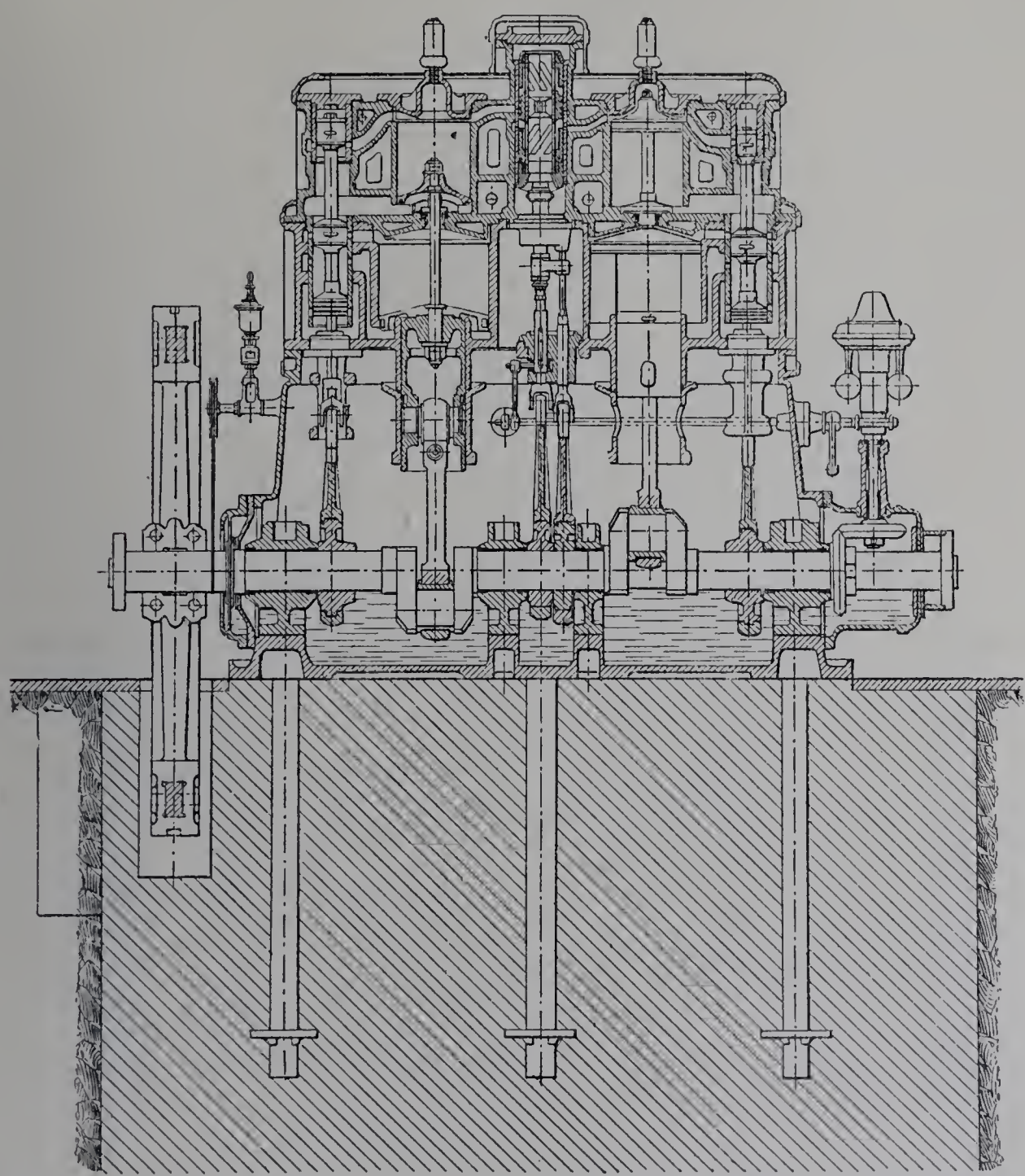


Fig. 599. — Moteur à simple effet de 180 chevaux à 320 tours, de M. E. Mertz. — Coupe longitudinale.

bas ; ce transvasement s'accompagne d'un certain travail négatif, parce que le grand piston a au-dessous de lui en guise de tige un manchon cylindrique qui coulisse dans un fourreau, tandis qu'au-dessus de lui s'élève seulement la tige du petit piston, de section notablement moindre. Puis, à partir de l'instant où cette communication est coupée, il y a compression dans le haut du cylindre, détente dans le bas et, par suite, résistance croissante appliquée au piston par la différence des pressions.

Enfin, un instant avant que finisse la course ascendante, l'échappement au condenseur s'ouvre au-dessous du grand piston. Cet échappement se poursuit pendant la presque totalité de la course descendante; il fait place, durant la fin de cette course, à une compression sous le piston.

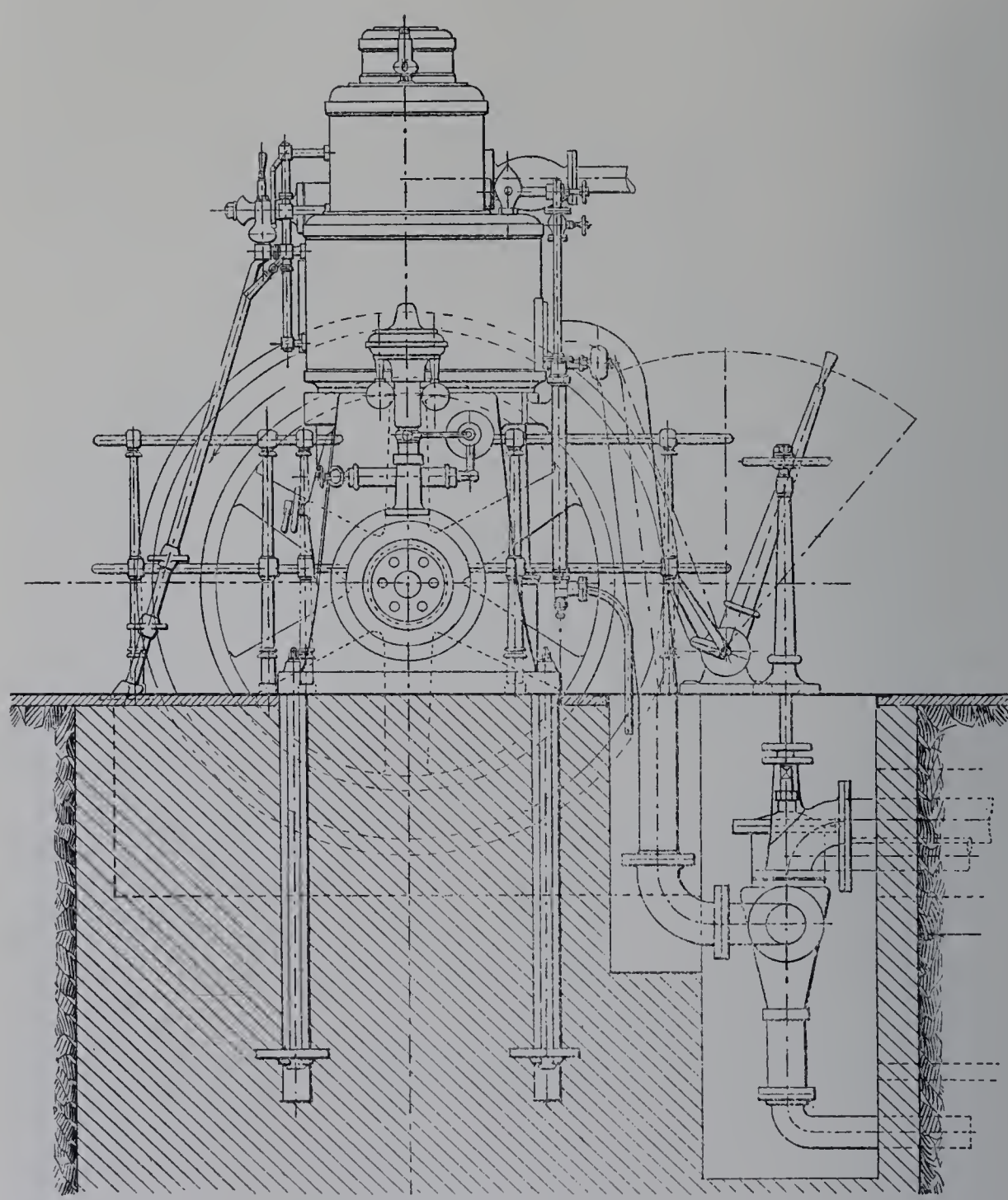


Fig. 600. — Elévation latérale.

On voit que la force résultant, sur l'ensemble des deux pistons et de leur tige, des pressions de la vapeur, est constamment dirigée vers le bas; elle diminue vers la fin de la course descendante, parce qu'il y a détente au-dessus des pistons et compression au-dessous; vers la fin de l'ascension sa valeur s'élève au contraire, par le double effet de la compression au-dessus et de la détente au-dessous. Ces variations sont de sens contraire à celles des forces d'inertie; on obtient ainsi la compensation de ces forces, sans avoir besoin de recourir au matelas d'air de M. Mark Robinson.

M. Émile Mertz expose, dans ce système, une machine de 180 chevaux effectifs à 320 tours par minute (vapeur à 10 kilogrammes par centimètre carré). Cette machine, à laquelle se rapportent les fig. 598 à 600, comprend deux lignes de cylindres, avec bielles agissant sur deux manivelles à 180 degrés. La vapeur est introduite alternativement à la partie supérieure des deux cylindres de haute pression par un double tiroir cylindrique du système Rider, logé entre eux; le reste de la distribution est donné, pour chaque ligne de cylindres, par un tiroir cylindrique à trois pistons distributeurs, disposé à l'une des extrémités du bloc.

L'arbre est porté par quatre paliers, dont deux dans l'intervalle séparatif des deux manivelles, et deux aux extrémités du bâti. Il se termine au delà de ces paliers extrêmes, d'un côté par un volant et un plateau d'accouplement, de l'autre par un engrenage d'angle, qui actionne un régulateur à force centrifuge gouvernant l'orientation du tiroir de détente Rider. Le bâti est du type cuirassé; sa base contient un bain d'huile.

Sur le plateau d'accouplement est boulonné l'axe d'une poulie à gorges, soutenue à son autre extrémité par un palier porteur.

Voici les données numériques relatives à ce moteur :

$$D_1 = D'_1 = 0^m 315 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.95$$
$$D_2 = D'_2 = 0\ 470 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.2$$
$$L = 0\ 300 \qquad \frac{2LN}{63} = 3^m 7$$
$$N = 320$$

L'accélération maximum des pistons s'élève à 168 m : s².

M. Émile Mertz expose, en plusieurs exemplaires, un autre type (fig. 601 et 602) où la vapeur travaille de la même manière, mais où, grâce à un arrangement cinématique spécial, il n'est pas nécessaire d'avoir plusieurs lignes de cylindres pour équilibrer la machine, de sorte que la solution est particulièrement appropriée à la construction des moteurs de petite ou de moyenne puissance. L'arbre coudé présente, au-dessous de la tige des pistons, deux manivelles décalées de 180 degrés et immédiatement juxtaposées l'une à l'autre. Sur les deux soies agissent en sens inverse deux bielles horizontales, conduites par deux balanciers en forme de leviers coudés. Les branches horizontales de ces leviers, étant dirigées l'une vers l'autre, ont à monter et à descendre ensemble : le mouvement leur est donné par deux tiges pendentives conduites par un palonnier tourillonné sur la crosse. De cette manière, abstraction faite de ce que les plans de rotation des deux manivelles ne sont pas exactements coïncidants, l'action sur l'arbre se trouve réduite à un couple et les réactions d'inertie sur le bâti donnent lieu uniquement à une résultante de trépidation dirigée suivant l'axe vertical de symétrie. Les pistons, du type suédois, n'ont d'ailleurs qu'une faible masse, afin de réduire cette résultante.

La distribution est donnée par un tiroir cylindrique, composé de trois pistons : celui

du haut met la partie supérieure du petit cylindre en communication alternative avec l'arrivée de vapeur et avec la capacité d'aval ; celui du milieu joue un rôle analogue pour le grand cylindre ; enfin le troisième ouvre et ferme alternativement la communication de la capacité située à l'aval du grand cylindre avec la conduite d'échappement.

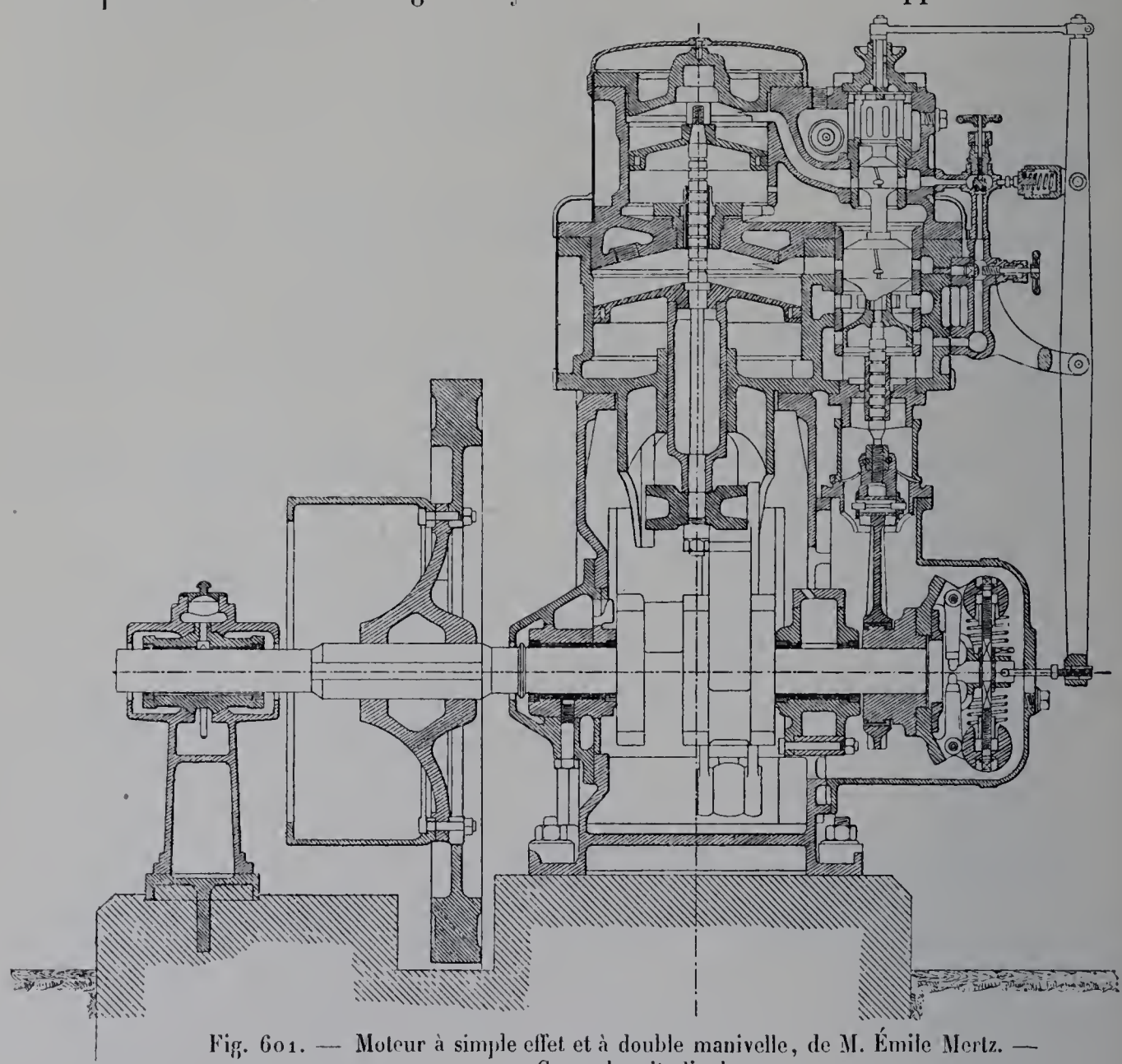


Fig. 601. — Moteur à simple effet et à double manivelle, de M. Émile Mertz. — Coupe longitudinale.

Toutefois, pour les machines qui fonctionnent sans condensation, ce troisième piston est supprimé : l'expansion totale de la vapeur se fait en trois stades au lieu de quatre et le dessous du grand piston demeure en communication permanente avec l'atmosphère.

Dans un cas comme dans l'autre, la distribution est à détente fixe. Les variations de la puissance sont obtenues par un laminage de la vapeur à l'amont du tiroir. Un régulateur centrifuge à axe horizontal coiffe directement l'extrémité libre de l'arbre et agit, par l'intermédiaire d'un long levier vertical, sur l'orientation d'un robinet en forme de lanterne à grille cylindrique, jouant dans un boisseau ajouré de même. — Le bâti forme carter et, à sa base, réservoir d'huile ; tout le mécanisme est enfermé, y compris le régulateur.

La machine n'a pas de presse-étoupe. La tige des pistons est entourée dans sa partie inférieure, entre le grand piston et la crosse, d'un manchon rainuré qui va et vient dans

un large fourreau : dans la partie médiane qui ne sort jamais de celui-ci, ce manchon porte deux segments pour assurer l'étanchéité. Quant à la partie de la tige comprise entre les deux pistons, elle traverse un fourreau à chemise rapportée et elle est simplement creusée de rainures. Il en est de même pour la pénétration de la tige du tiroir dans la boîte de distribution.

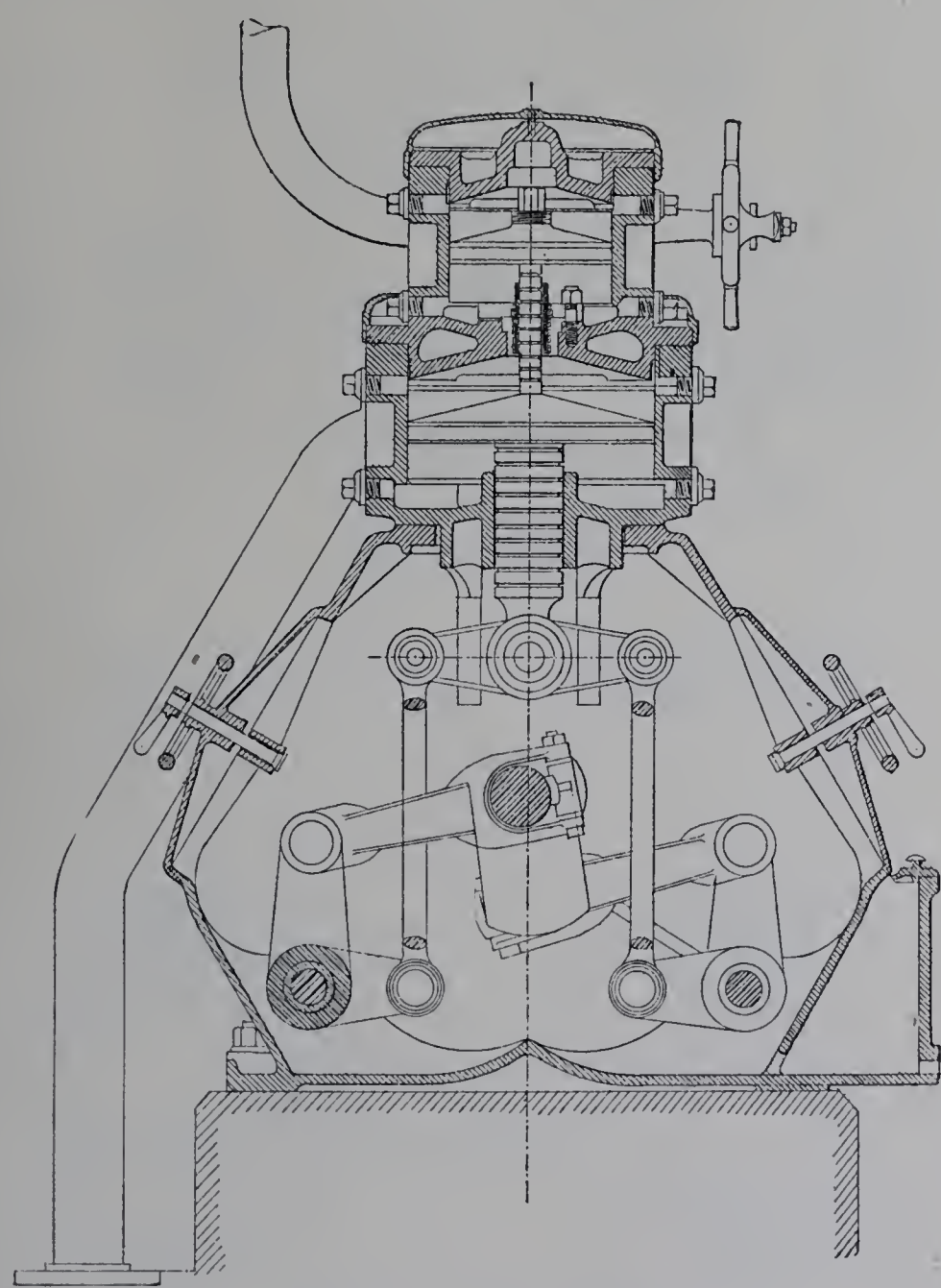


Fig. 602. — Coupe transversale.

M. Mertz présente plusieurs machines de ce type, qu'il construit sur une échelle étendue de puissances, depuis une dizaine de chevaux jusqu'à 100. Pour le plus petit modèle, qui a la plus grande vitesse angulaire, les données sont :

$$D_1 = 0^m 17 \qquad \frac{L}{D_1} = 0.53$$
$$D_2 = 0\ 26 \qquad \frac{D_2^2}{D_1^2} = 2.34$$
$$L = 0\ 09 \qquad \frac{2LN}{60} = 1^m 56$$
$$N = 520$$

La valeur correspondante de $r\omega^2$ est 133.

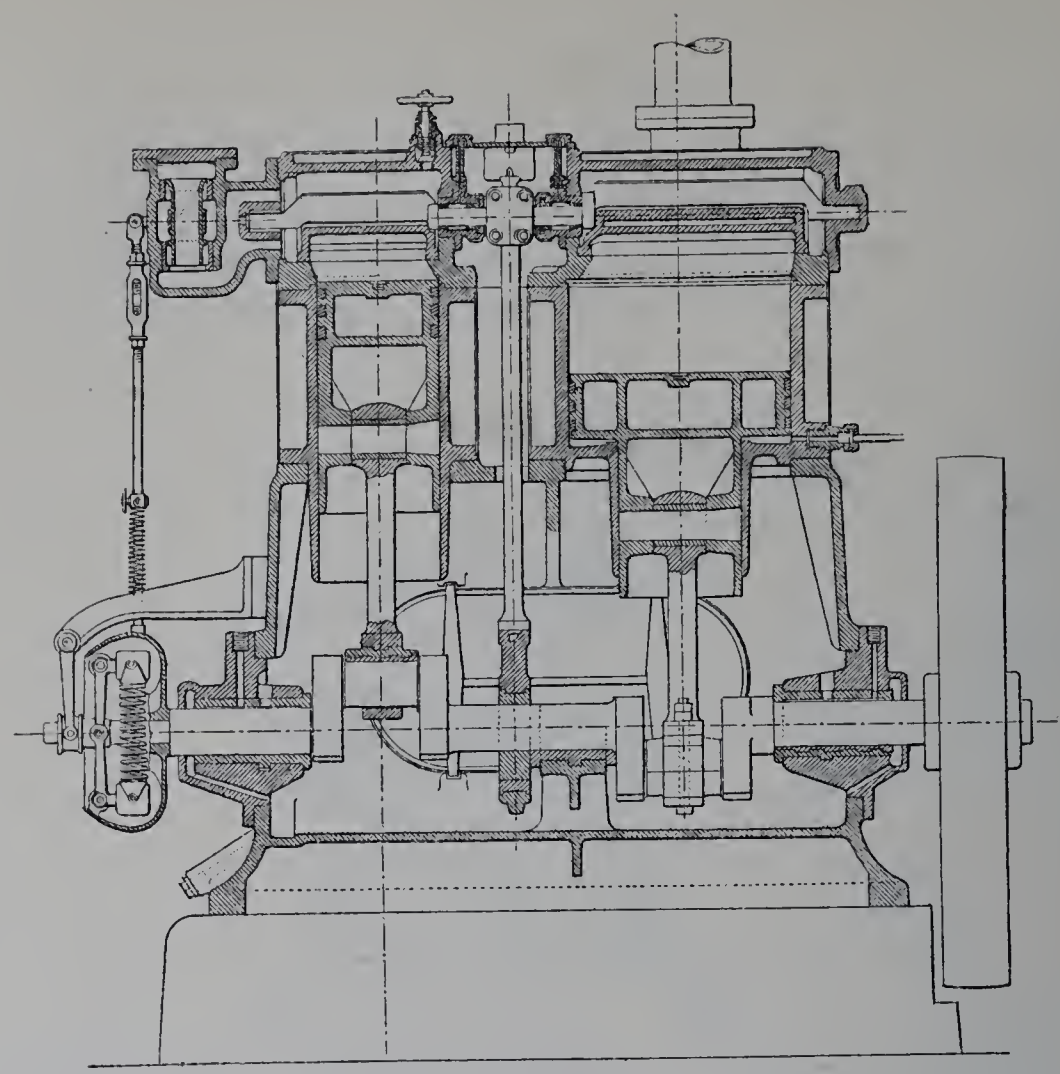


Fig. 603. — Moteur Victor Legrand. — Coupe longitudinale.

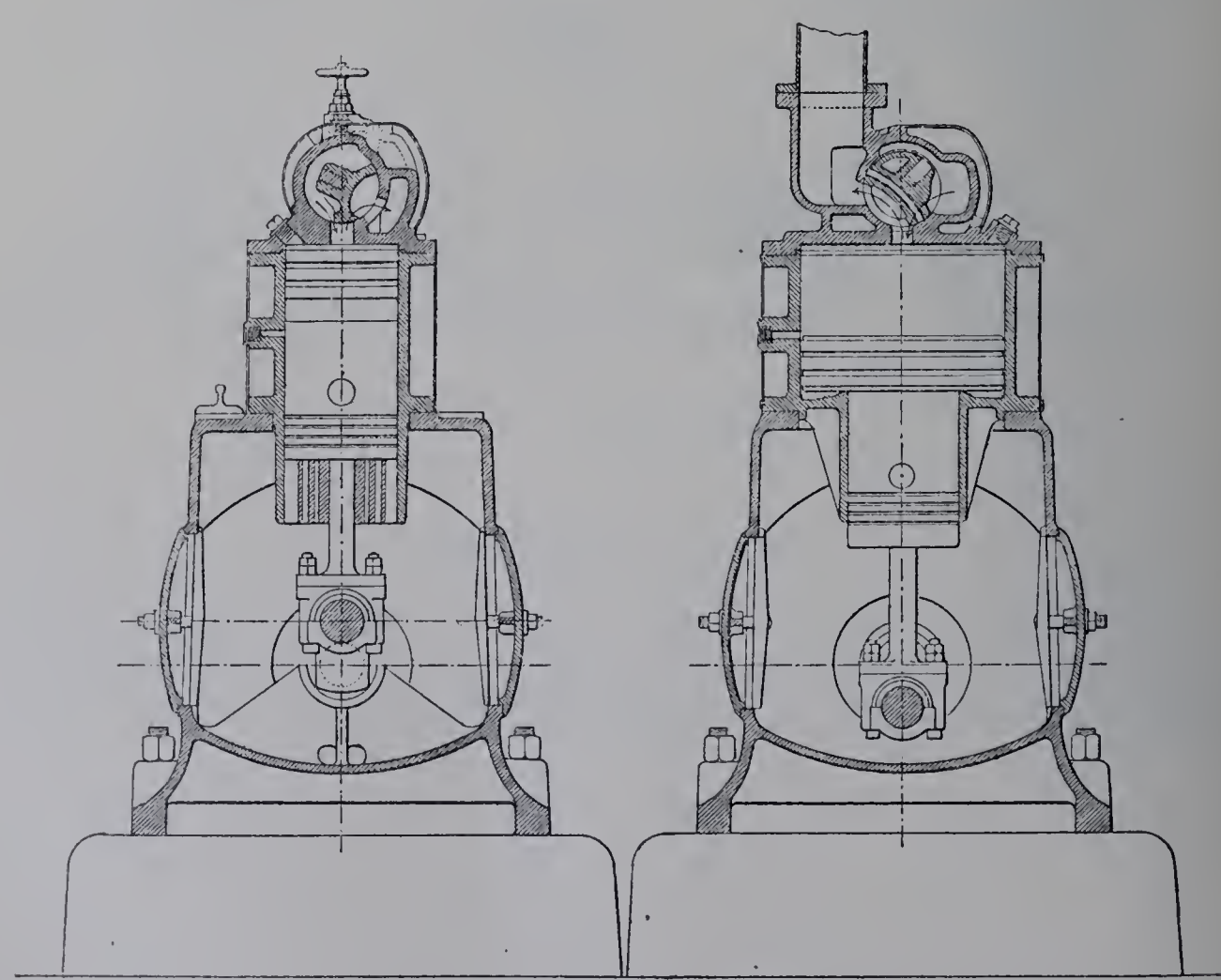


Fig. 604. — Coupes transversales.

Types divers. — Dans le moteur compound que présente M. Victor Legrand, de Paris (fig. 603 et 604 ci-contre), les cylindres sont disposés parallèlement au-dessus d'un arbre à deux manivelles décalées de 180 degrés; la vapeur passe de l'un à l'autre par un simple canal, en se détendant suivant le système de Woolf. Les pistons sont guidés inférieurement par de longs fourreaux. La distribution est donnée par deux robinets oscillants, analogues à des tiroirs Corliss sans déclic, disposés sur les fonds supérieurs des cylindres et actionnés simultanément par un seul excentrique calé sur l'arbre entre les manivelles. Cette distribution est réglée une fois pour toutes. La variation de puissance est obtenue par étranglement de la vapeur à l'entrée de la machine, au moyen d'une soupape équilibrée placée sous la dépendance d'un régulateur à force centifuge; celui-ci, à axe horizontal et à rappel par ressorts, est directement fixé sur l'une des extrémités de l'arbre, dont l'autre porte un volant de 80 centimètres de diamètre.

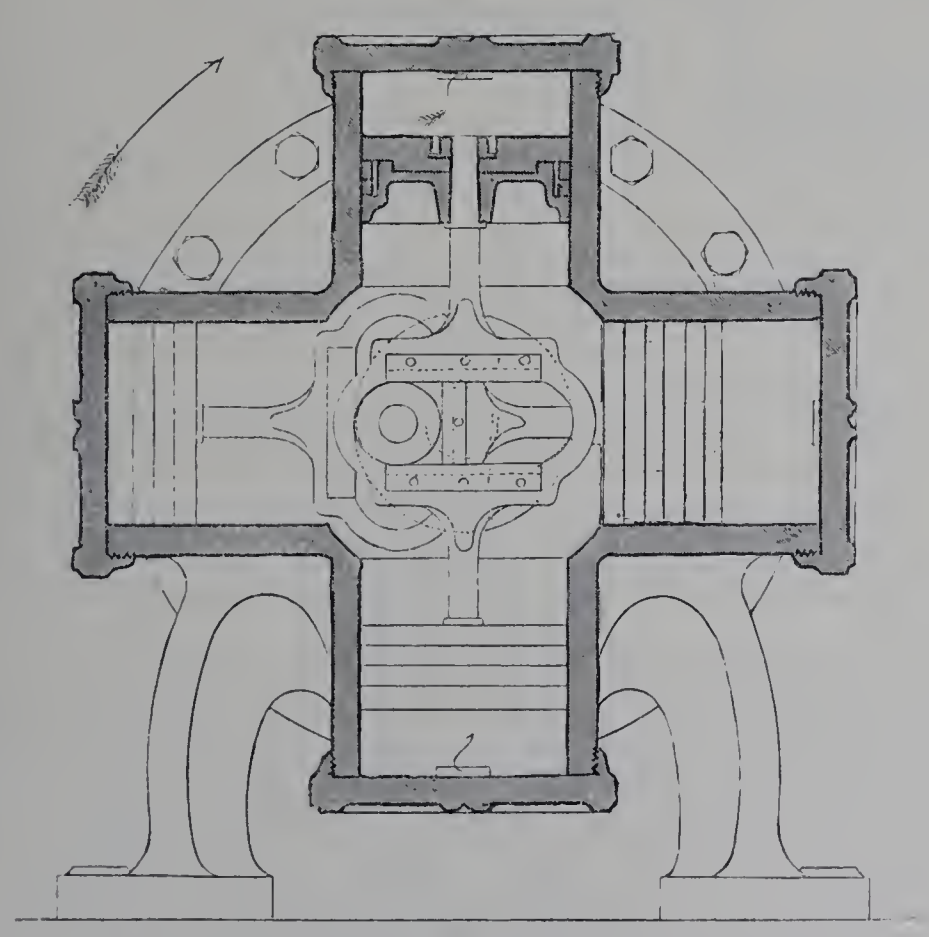


Fig. 605. — Moteur H. Nègre. — Coupe transversale.

Voici les chiffres caractéristiques :

$D_1 = 0^m 18$	$\frac{L}{D_1} = 0.78$
$D_2 = 0\ 33$	$\frac{D_2^2}{D_1^2} = 3.36$
$L = 0\ 14$	
$N = 500$	$\frac{2LN}{60} = 2^m 33$

L'accélération $r\omega^2$ s'élève à 202 m : s².

La machine développe une trentaine de chevaux avec une pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré et une expansion totale de 6.

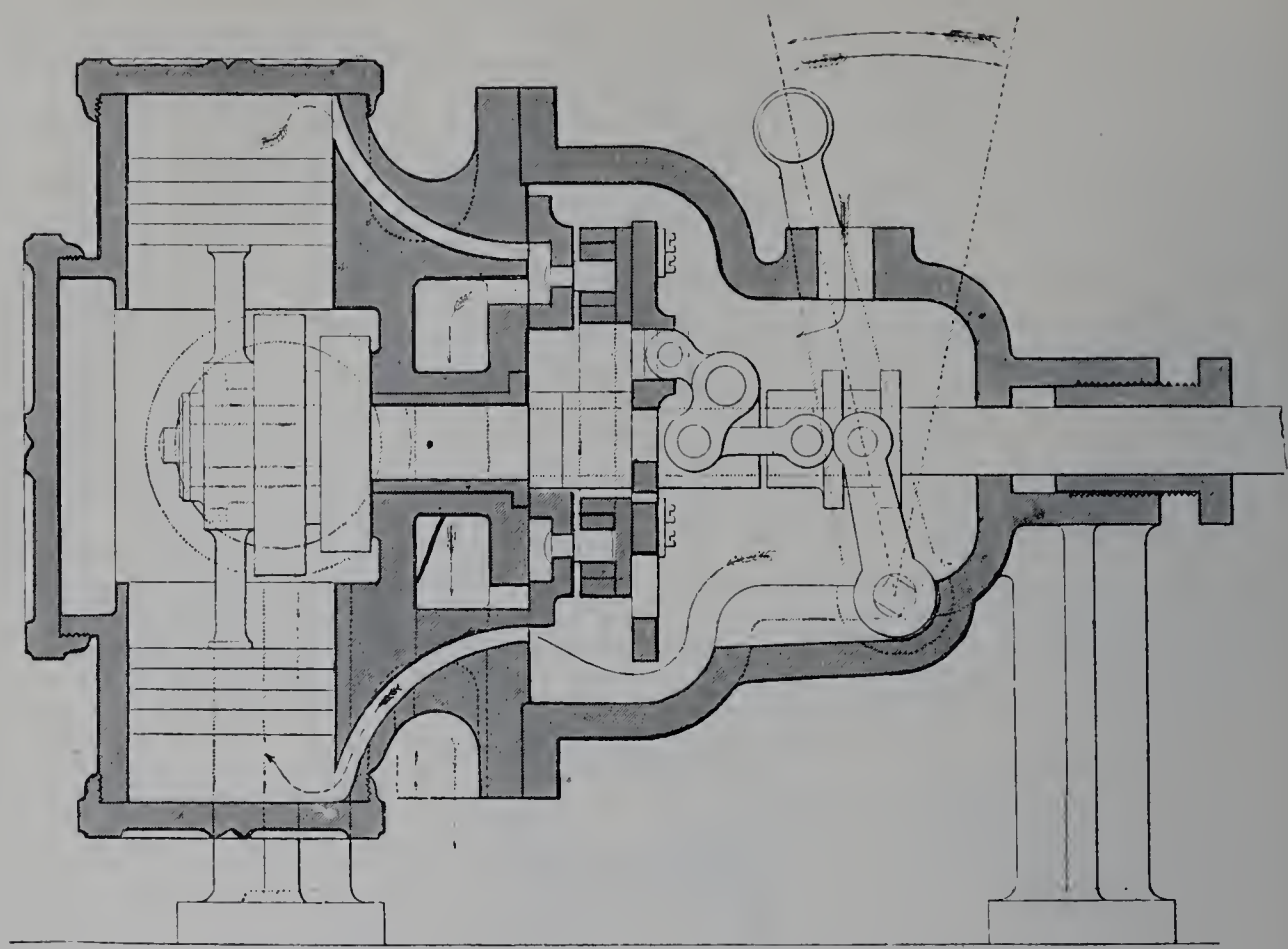


Fig. 606. — Coupe longitudinale du moteur H. Nègre.

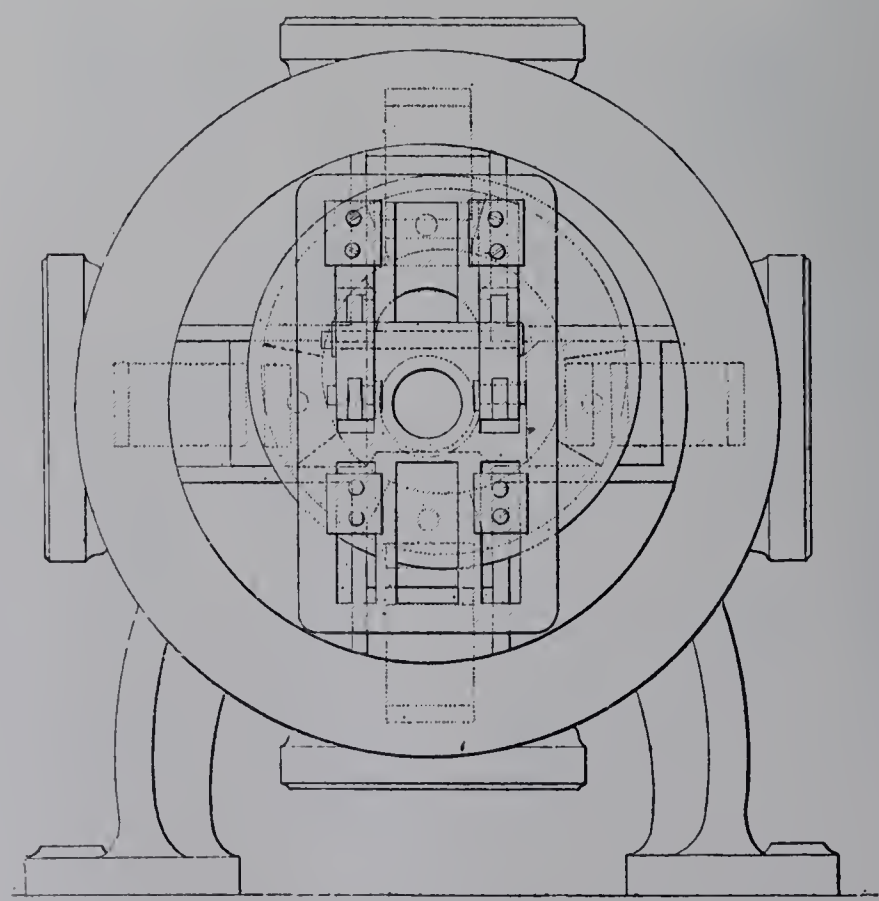


Fig. 607. — Elévation normale à l'axe.

Le moteur léger à grande vitesse de M. Henri Nègre, de Paris (fig. 605 à 607), possède quatre cylindres à simple effet, symétriquement disposés autour de l'axe du système et associés en quantité. Les pistons, fixés deux à deux aux extrémités de deux tiges en croix, agissent par deux cadres à glissières sur une manivelle unique. La distribution est donnée par un tiroir tournant, entraîné dans le mouvement de rotation de l'arbre et formant papillon sur une glace plane normale à celui-ci. Cet organe de distribution est tenu appliqué sur sa glace par la différence des pressions. Il est disposé sur l'arbre comme un excentrique à calage et course variables; on peut, à l'aide d'un simple mouvement de coulisse, faire varier la détente et au besoin renverser la rotation; ce mécanisme de changement de marche est commandé par un levier à main. Tout l'appareil est renfermé dans une boîte, d'où ne sortent que l'arbre moteur et l'axe du levier de commande.

Dans le système de M. Nicolas Maiewsky, d'Ecatherinoslaw (Russie), ce sont les cylindres qui sont entraînés dans le mouvement de rotation. Le moteur est à double expansion. Il possède deux pistons de 8 centimètres de diamètre et deux de 12 centimètres, avec 8 centimètres de course. Alimenté sous la pression de 10 kilogrammes et fonctionnant à échappement libre, il développe environ 10 chevaux à 600 tours par minute.

IV

RÉCEPTEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF NON RECTILIGNE.

Avant de quitter les récepteurs à mouvement alternatif et de passer aux machines rotatives, un titre spécial est nécessaire pour placer l'indication d'une combinaison

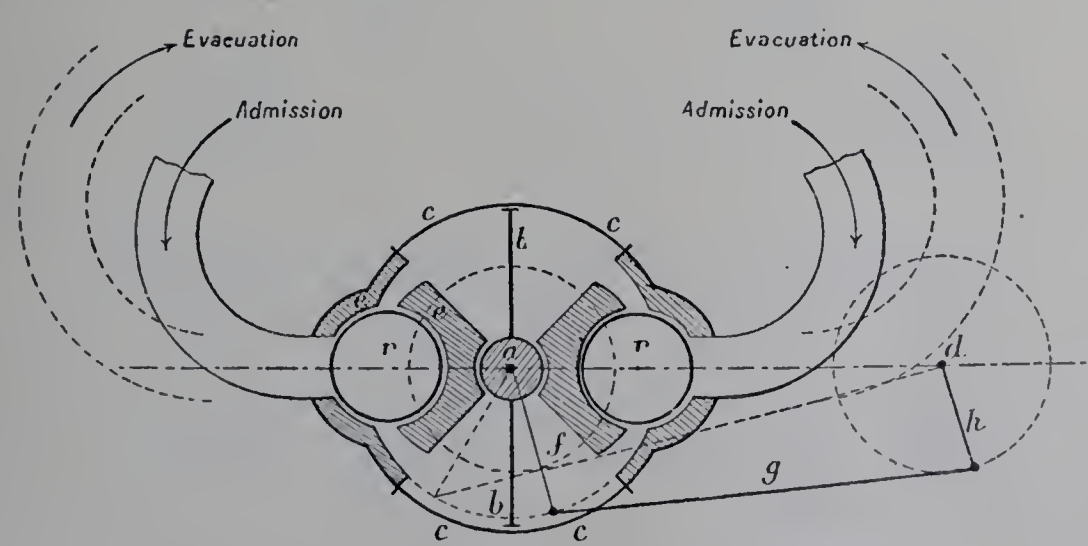


Fig. 608. — Coupe schématique du moteur de Chardonnet.

cinématique unique en son genre : c'est celle proposée par M. le comte de Chardonnet. Dans le moteur léger présenté par cet inventeur (fig. 608), la vapeur agit sur un piston animé d'un mouvement de va-et-vient; mais ce mouvement n'est pas rectiligne. Le piston est un disque *b b* oscillant autour d'un de ses diamètres. Chacune des moitiés

IMPRIMERIE NATIONALE.

de son contour engendre donc une portion de sphère; l'ensemble de l'appareil *cccc* est en forme de boule. L'amplitude de l'oscillation est de 45 degrés de part et d'autre de la position moyenne, de sorte que le moteur se compose, en définitive, de deux capacités assimilables à deux cylindres associés en quantité; mais ces capacités, au lieu d'avoir la forme de cylindres, ont celle de fuseaux sphériques de 90 degrés d'ouverture, dans chacun desquels un piston demi-circulaire oscille autour de l'arête *a* du fuseau.

Ces deux capacités, qui occupent chacune un quart de la sphère, sont séparées par des parties pleines *ee* dans lesquelles sont ménagés les logements *rr* des organes de distribution, qui consistent en robinets tournants. Le moteur est à double effet : la vapeur agit, dans chaque fuseau creux, sur les deux faces du piston oscillant.

Chaque boisseau de robinet communique, par deux lumières diamétralement opposées, avec les deux fuseaux creux; il se trouve, d'autre part, en relation avec deux conduits, servant l'un à l'admission de la vapeur et l'autre à l'évacuation, juxtaposés dans le sens de sa longueur. Le robinet lui-même est divisé en deux par une cloison hélicoïdale; par suite, il met chacune des lumières en relation alternative avec l'arrivée de vapeur et avec l'échappement.

Le mouvement alternatif du piston oscillant est transformé en mouvement circulaire continu par une bielle *g* et une manivelle *h*; sur l'arbre moteur *d* ainsi actionné, le mouvement rotatif des robinets distributeurs est pris par un engrenage d'angle.

CHAPITRE V.

RÉCEPTEURS ROTATIFS.

I

MACHINES À DIAPHRAGME TOURNANT.

L'idée de produire directement la rotation d'un arbre en faisant agir la vapeur sur un diaphragme tournant a donné lieu à bien des tentatives, dont les premières ne datent pas d'hier. « Watt inventa une machine rotative, dit Thurston dans son *Histoire de la machine à vapeur,* et, bien longtemps après, en 1836, Yule en construisit quelques-unes à Glasgow. Lamb en fit breveter une nouvelle en 1842 et Behrens une autre encore en 1847. Napier, Hall, Massey, Holly, Lafrance et bien d'autres ont construit des machines de ce système dans ces derniers temps. » Aucun des types auxquels faisait allusion Thurston n'a survécu à l'épreuve d'une expérience un peu prolongée. Le succès des turbines à vapeur ôte aujourd'hui au problème beaucoup de son intérêt.

Moteurs Hult. — Signalons cependant que les moteurs de la Société Hult frères, de Stockholm, présentent des dispositions intéressantes en vue de la réduction des frottements. On y substitue, partout où c'est possible, le roulement au glissement; là où des glissements sont inévitables, ce ne sont que des glissements différentiels. Le principe est le suivant : Une enveloppe cylindrique A (fig. 609) renferme un tambour B, circulaire comme elle, de même longueur mais de moindre diamètre, excentriquement placé de manière à toucher l'enveloppe suivant sa génératrice inférieure J. Chacun des deux cylindres est susceptible de tourner autour de son axe ; la rotation du tambour entraîne, par frottement, celle de l'enveloppe : il n'en résulte, sur la génératrice J, qu'un frottement de roulement. D'autre part, le long d'une des génératrices du tambour est pratiquée une rainure radiale, dans laquelle est engagée une palette G qui peut s'y loger tout entière ou faire plus ou moins saillie. Sous l'action d'un léger ressort et, au cours du fonctionnement, sous celle de la force centrifuge, cette palette fait constamment

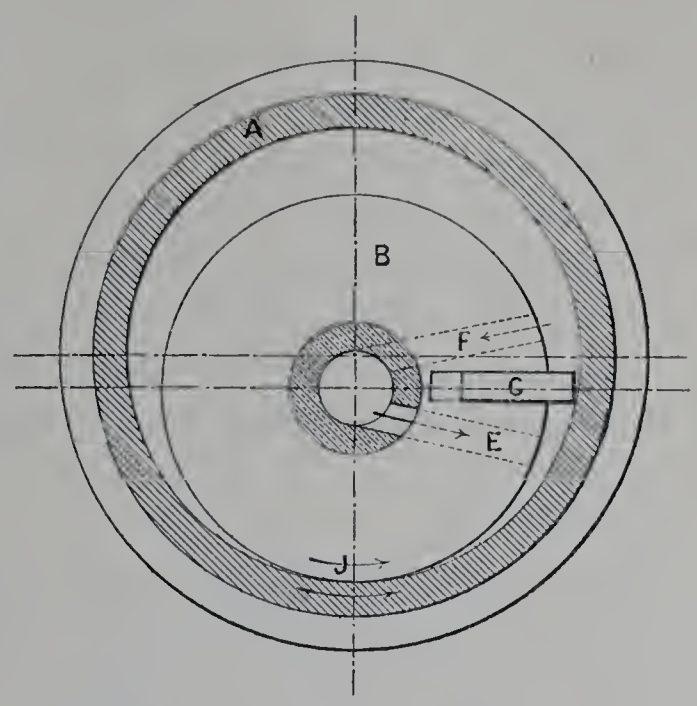


Fig. 609. — Principe du moteur Hult. Coupe schématique transversale.

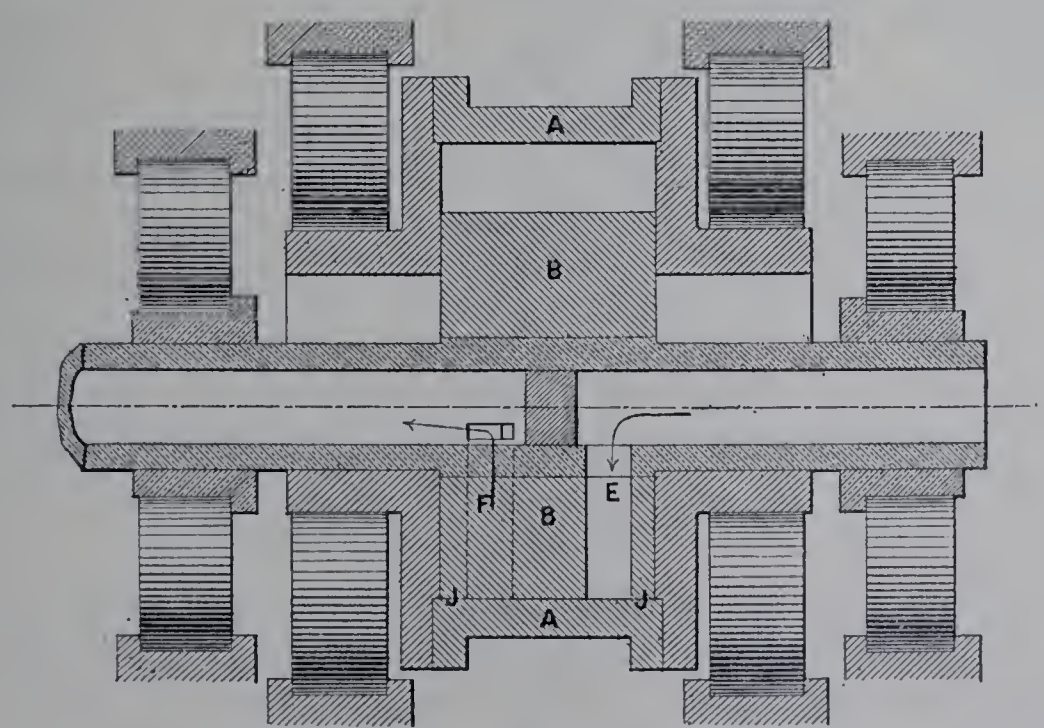


Fig. 610. — Coupe schématique longitudinale.

saillie autant que le lui permet l'intervalle entre tambour et enveloppe. Cet intervalle se trouve ainsi partagé en deux chambres, dont l'une croît et l'autre décroît à mesure que la rotation du tambour déplace la palette G, tandis que la ligne de tangence J conserve une position invariable.

Au contact de la palette G et de la paroi de l'enveloppe, il y a un frottement de glissement, mais simplement différentiel. En effet, les deux surfaces du tambour et de l'enveloppe, puisqu'elles roulent l'une sur l'autre en J, ont même vitesse linéaire. En un tour, tandis que le bord frottant de la palette G a effectué un trajet égal à la circonférence de l'enveloppe B, celle-ci n'a cheminé que d'une longueur égale à la circonférence du tambour B; c'est seulement de la différence de ces deux longueurs que la première pièce a glissé sur la seconde.

Une remarque analogue s'appplique au frottement des faces planes du tambour contre les fonds plats qui terminent l'enveloppe (fig. 610).

Il faut naturelllement qu'il y ait emboîtement sans jeu dans le sens longitudinal, sans quoi il y aurait fuite; mais, comme les deux pièces tournent simultanément, les surfaces planes en contact ne glissent l'une sur l'autre que de la différence de leurs déplacements.

Nous avons à revenir sur le contact entre les deux cylindres le long de la ligne J. Si ces deux cylindres étaient tourillonnés dans des coussinets de manière que les positions de leurs axes fussent rigoureusement invariables, on n'aurait pas le moyen de régler, ni de maintenir constante, malgré l'usure, la pression des deux surfaces l'une contre l'autre. Mais, suivant la disposition représentée schématiquement par les figures 610 et 611, l'arbre creux qui porte le tambour et les tubulures creuses des couvercles de l'enveloppe sont montés, d'après le principe des roulements à billes ou à rouleaux, dans des couronnes d'anneaux élastiques. Ce mode de montage réduit à des frottements de roulement les résistances passives; en même temps, l'élasticité des anneaux, mise en jeu par un rapprochement convenable des deux axes, permet d'assurer une valeur constante à la pression qui s'exerce au contact des deux pièces tournantes.

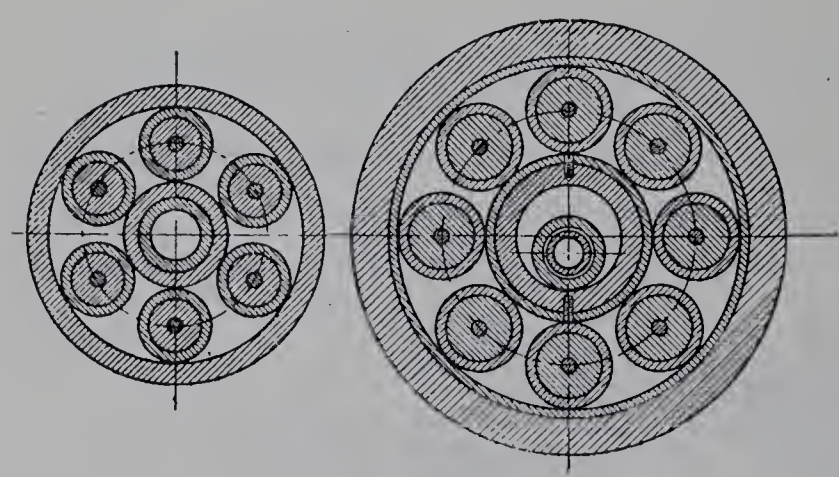


Fig. 611. — Principe du montage de l'axe du tambour et de celui de l'enveloppe dans des couronnes d'anneaux élastiques.

La figure 609 suppose au tambour une seule palette, dont la face motrice (qui est toujours la même) serait mise en communication permanente avec l'arrivée de vapeur par l'un des bouts de l'arbre creux et le canal E, tandis que l'autre face communiquerait constamment avec le condenseur ou l'atmosphère par le canal F et l'autre moitié de l'arbre creux. La vapeur travaillerait ainsi sans détente; de plus, quand la palette serait en bas de la circonférence, sur la ligne de tangence J ou auprès de cette ligne, il y aurait communication entre les canaux E et F; la vapeur passerait, sans travailler, de la chaudière au condenseur. En réalité, la distribution est disposée comme le montre la figure 612. On voit ici deux palettes, diamétralement opposées. Ces deux palettes

mobiles et la ligne de tangence fixe partagent en trois chambres de capacités variables, et non plus seulement en deux, l'intervalle entre tambour et enveloppe. Suivons par la pensée la chambre dans laquelle travaille une masse de vapeur, à partir de l'instant où, l'une des palettes venant de passer au bas de la circonférence, cette chambre croît à partir de zéro : nous voyons que, pendant un demi-tour du tambour, cette chambre va croissant, limitée d'un côté par la tangence des deux cylindres et de l'autre par la palette considérée, que nous appellerons palette n° 1. Pendant le demi-tour suivant, la chambre se trouve limitée d'un côté par la palette n° 2, qui a franchi la ligne de tangence, et de l'autre, comme précédemment, par la palette n° 1. Ainsi comprise entre les deux palettes, la capacité de la chambre continue d'abord de croître, puis elle décroît : elle est maximum à la moitié de ce demi-tour, quand les deux palettes sont horizontales. Enfin, pendant un troisième demi-tour, limitée d'un côté par la palette n° 2 et de l'autre par la ligne de tangence, sa capacité est ramenée à zéro.

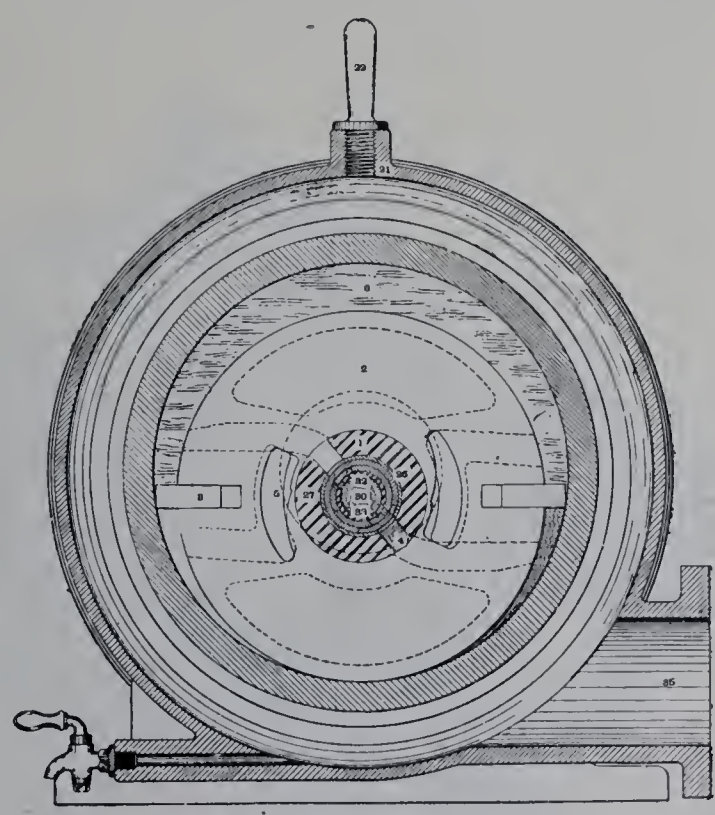


Fig. 612. — Moteur Hult. — Coupe transversale.

Des canaux, percés dans le tambour, servent à mettre la face amont de chaque palette en communication avec l'introduction de vapeur et la face aval avec l'échappement ; mais ces communications ne sont pas ouvertes en permanence. L'arbre creux du tambour sert seulement à l'arrivée du fluide ; deux canaux symétriques, dont l'un est numéroté 4 sur la figure 612, le font communiquer à point nommé avec la face motrice de l'une ou de l'autre palette : à cet effet, il renferme suivant son axe un tube adducteur qui ne participe pas au mouvement de rotation et autour duquel il forme manchon tournant ; il suffit que ce tube fixe soit percé d'une fenêtre latérale convenable pour que l'admission de la vapeur ait lieu, à chaque demi-tour, uniquement dans la chambre voulue et durant la période que l'on désire. Pour l'échappement, deux autres canaux symétriques, dont l'un est numéroté 5 sur la figure 612, font communiquer la surface cylindrique avec l'une des faces planes du tambour. La lumière par laquelle chacun de ces canaux débouche sur la face plane, au voisinage de l'arbre creux, est alternativement masquée et démasquée, au cours de la rotation, à raison de l'excentricité de l'enveloppe par rapport au tambour : il résulte en effet de cette excentricité que l'intervalle existant entre l'arbre creux de celui-ci et la tubulure de celle-là a une section en forme de croissant, fixe d'ailleurs dans l'espace : chacune des deux lumières tournantes se trouve, tantôt recouverte par le couvercle de l'enveloppe, tantôt en communication avec le vide de cet intervalle.

L'échappement a lieu dans la boîte générale qui enveloppe l'appareil. Le graissage de la vapeur, à son entrée dans la machine, lubrifie tout le système.

La Société Hult a fourni à l'industrie, principalement en Suède et en Russie, des moteurs de puissances diverses, depuis 5 jusqu'à 50 chevaux. Elle expose dans la Classe 19 un type développant 30 chevaux à 850 tours par minute, un autre de 10 chevaux à 1,250 tours. Le premier de ces moteurs pèse 875 kilogrammes, le second 285 kilogrammes : c'est à peu près 29 kilogrammes par cheval. L'encombrement est minime et le système se prête à l'accouplement direct avec une dynamo (fig. 613), une pompe centrifuge, etc. L'exposant présente, boîte ouverte, un moteur qui a fonctionné, paraît-il, pendant deux années pour faire tourner une génératrice d'électricité, fournissant la puissance motrice aux ateliers de la Compagnie « Centrator », à Stockholm : l'appareil est en excellent état de conservation.

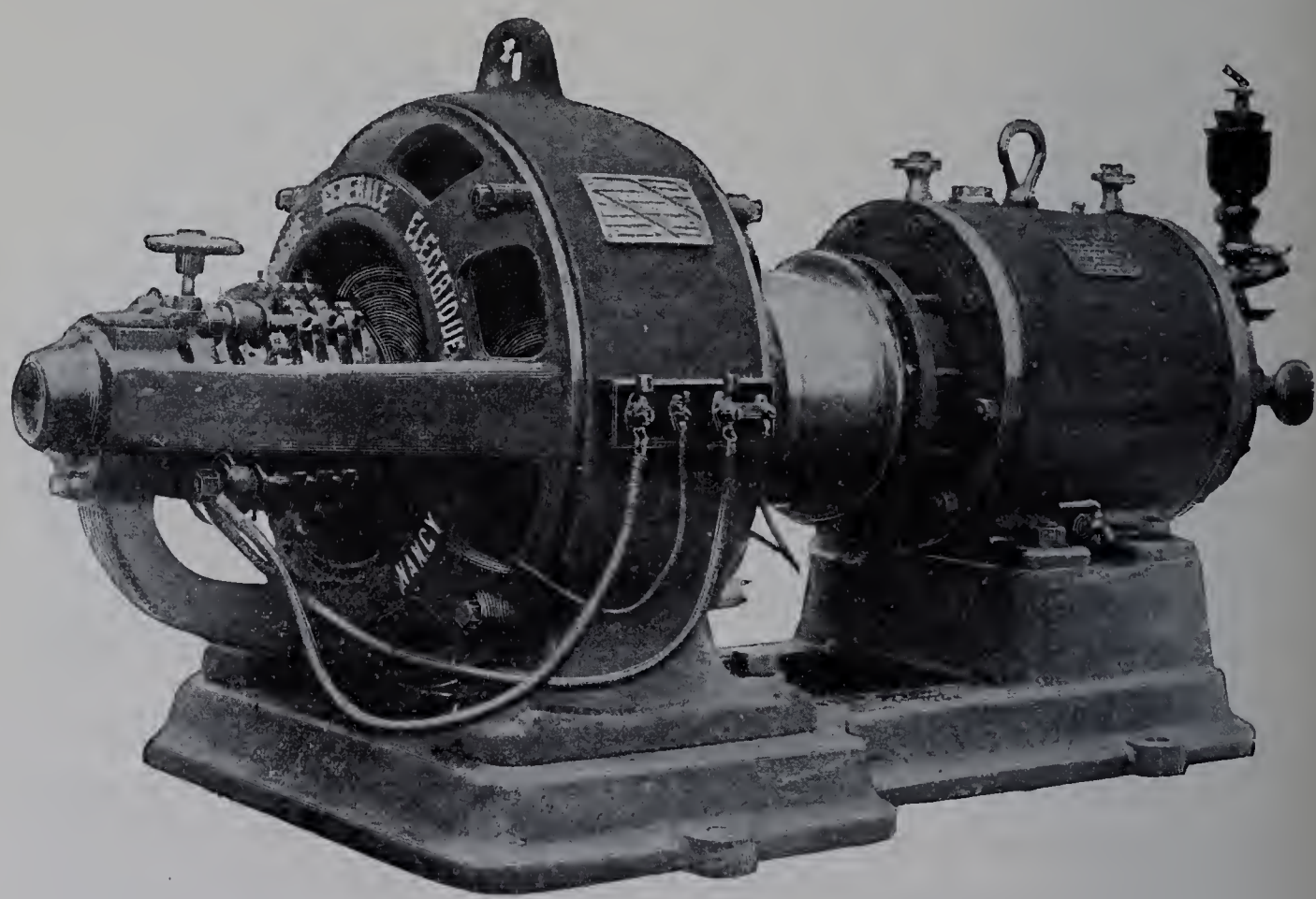


Fig. 613. — Moteur Hult conduisant une dynamo.

Systèmes divers. — Dans la machine rotative proposée par M. Louis Le Rond, de Paris, un tambour *c* (fig. 614), armé de deux palettes diamétralement opposées, tourne dans une boîte cylindrique dont les palettes rasent les parois. Le vide compris entre le tambour et l'enveloppe constitue donc un tore creux, dans lequel l'ensemble des deux palettes forme une cloison diamétrale tournante. Pour que ces palettes puissent, chacune à son tour, servir de piston rotatif, il faut que, à l'amont de la palette considérée, le tore creux soit barré par un obturateur de position fixe : de la sorte, l'intervalle compris entre l'obturateur fixe et la palette mobile comprendra une capacité croissante dans

laquelle la vapeur pourra travailler. Mais il est nécessaire que, tout en fermant continuellement une même portion du tore creux, l'obturateur laisse passer les palettes. A cet effet, cet obturateur est constitué par un second tambour tournant G G, disposé parallèlement au premier et ayant un diamètre égal à la boîte qui environne celui-ci; ce que l'on peut encore exprimer en disant que le second tambour est égal au premier, mais porte un manchon en forme de tore plein exactement égal au tore creux qui environne le premier tambour. Les deux pièces sont disposées de telle sorte que le tore plein pénètre dans le tore creux : il a, avec lui, une demi-section méridienne commune. Il forme donc, dans le tore creux, un obturateur de position fixe. Reste à laisser passer les palettes. Dans ce but, le tore plein présente deux entailles, symétriquement placées à 180 degrés l'une de l'autre, et les deux tambours, rendus solidaires par un engrenage extérieur, ont des rotations concordantes et de sens opposés, de telle sorte que les palettes de l'un sont reçues dans les entailles de l'autre et trouvent ainsi le chemin libre. Pour que l'obturation du tore creux reste néanmoins continue, les entailles doivent être profilées de manière qu'il y ait contact entre la palette et l'entaille tant que la tangence est interrompue entre le tore plein et le manchon à palettes.

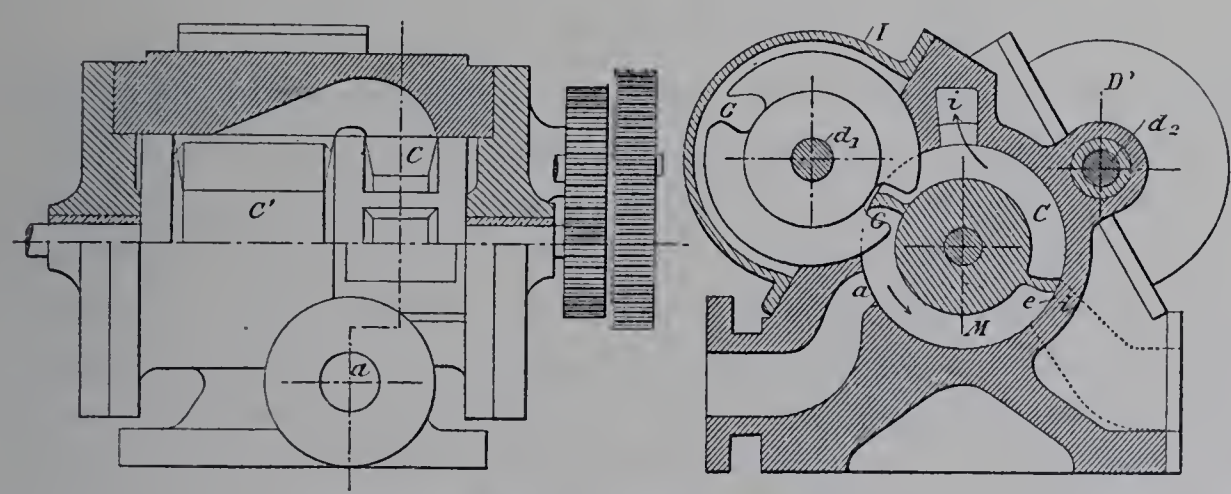


Fig. 614. — Moteur rotatif de M. Louis Le Rond.

La lumière d'arrivée de vapeur *a* et celle d'échappement *i* sont constamment séparées l'une de l'autre, d'un côté par l'obturation continue dont nous venons de parler, de l'autre par l'une au moins des palettes. La capacité M, en relation avec *a* et pleine de fluide sous pression, va croissant tandis que décroît la capacité ouverte à l'échappement. On obtient ainsi un travail de la vapeur, mais constamment à pleine pression. Pour réaliser la détente, M. Le Rond associe en série deux systèmes de ce genre : la vapeur qui s'échappe du tore creux, au lieu d'être directement rejetée à l'atmosphère ou évacuée dans un condenseur, passe dans un second tore creux, placé à la suite du premier sur le même axe et ayant, à raison d'une plus grande longueur, une plus grande capacité. La vapeur subit, en passant de l'un dans l'autre, une expansion progressive suivant le principe de Woolf. Le degré de détente est marqué par le rapport des longueurs des deux systèmes successifs.

Le travail est recueilli directement sur l'arbre commun des deux tores à palettes

C. F. E.

motrices. Les engrenages qui entrent dans la constitution de l'appareil n'ont d'autre rôle que de faire mouvoir les tores pleins; ils n'ont à vaincre aucun effort notable. Il est évidemment nécessaire, sous peine d'une consommation de vapeur excessive, que chacune des palettes, tout en trouvant partout un passage aisé, ne laisse fuir sensiblement la vapeur ni au contact des parois du tore creux, ni au contact de l'entaille du tore plein. Un défaut d'étanchéité donné aurait d'autant plus d'influence sur la dépense de vapeur que la rotation se ferait à vitesse plus modérée.

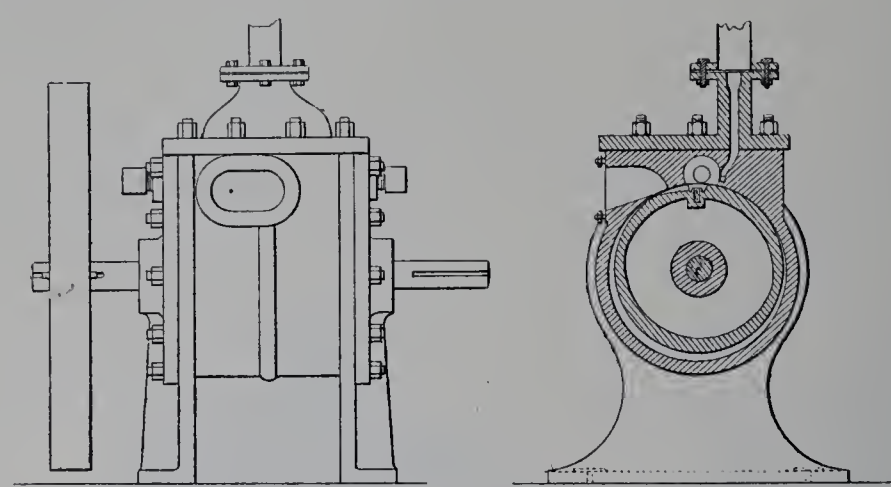


Fig. 615. — Moteur rotatif de MM. Lebrethon et Hommet.

Dans le petit moteur d'un cheval, à 1,300 tours par minute (vapeur à 6 kilogrammes par centimètre carré), proposé par MM. Lebrethon et Hommet, de Lisieux (fig. 615), nous trouvons, à l'intérieur d'une boîte cylindrique, un piston tournant constitué par un tambour légèrement excentré, de manière qu'une seule de ses génératrices touche la paroi cylindrique de l'enveloppe, le long de laquelle elle se déplace au cours de la rotation. En vue d'assurer l'étanchéité et de supporter le frottement, une barrette engagée dans une rainure du tambour et repoussée par des ressorts forme garniture le long de cette génératice. De plus, la section droite du tambour n'est pas exactement circulaire : immédiatement à l'arrière de la génératrice frottante, elle est creusée d'un redan; à cette dépression brusque succède un profil adouci qui rattrape progressivement la forme circulaire. D'autre part, dans la paroi de l'enveloppe sont ménagées, suivant deux génératrices voisines l'une de l'autre, deux lumières servant, l'une à l'arrivée de la vapeur, l'autre à l'échappement. Entre ces deux lumières, immédiatement derrière celle d'admission, se trouve disposé un volet à charnière que la différence des pressions applique constamment contre le tambour tournant, sur lequel il frotte par son bord. Ce volet frottant forme un obturateur de position invariable entre l'enveloppe et le tambour, tandis que la garniture qui arme la génératrice frottante de celui-ci forme diaphragme mobile; de la sorte, l'intervalle entre la partie fixe et la partie mobile du système se trouve constamment divisé en deux chambres, l'une croissante, l'autre décroissante. Celle-ci est en communication permanente avec l'échappement; celle-là communique avec l'arrivée de vapeur, du moins tant que le profil du tambour excentré permet au volet de faire une suffisante saillie à l'intérieur de l'enveloppe. Lorsque, par suite du profil et de l'excentricité du tambour tournant, le volet est obligé de s'effacer, il vient fermer la

lumière d'arrivée de vapeur. On peut donc, par l'arrangement donné à ce profil et à cette excentricité, faire en sorte que la vapeur travaille à pleine pression d'abord, par détente ensuite.

II

TURBINES À VAPEUR.

Généralités. — La réalisation pratique de turbines susceptibles d'utilisation industrielle est l'un des progrès les plus mémorables qui aient été accomplis depuis longtemps dans le domaine de la machine à vapeur. Le principe n'est pas neuf : l'éolipyle de Héron d'Alexandrie, la roue à vapeur de Giovanni Branca, en étaient déjà des applications; un certain nombre de systèmes de tourniquets à réaction et de roues à impulsion ont été imaginés à la fin du XVIIIe siècle et au cours du XIXe. Le moulinet à réaction proposé en 1791 par James Sadler tournait dans une boîte en communication avec un condenseur. En 1827, Réal et Pichon associaient, en les montant sur le même arbre, une série de disques tournants séparés par des distributeurs fixes : le principe des roues multiples était donc trouvé dès cette époque. La turbine de Leroy (1838-1840), à haute pression, détente successive et condensation, procédait des mêmes principes. Il convient de rappeler que Tournaire, en 1853, a formulé avec une clarté admirable la plupart des idées qui président aujourd'hui à la construction des turbines à roues multiples. « Les fluides élastiques, écrivait-il, acquièrent d'énormes vitesses sous l'influence de pressions même assez faibles. Pour utiliser convenablement ces vitesses, sur de simples roues analogues aux turbines à eau, il faudrait admettre un mouvement de rotation extraordinairement rapide et rendre extrêmement petite la somme des orifices, même pour une grande dépense de fluide. On éludera ces difficultés en faisant perdre à la vapeur ou au gaz sa pression, soit d'une manière continue et graduelle, soit par fractions successives et en la faisant plusieurs fois réagir sur les aubes de turbines convenablement disposées. Dès que les différences de pression sont considérables, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, on reconnaît qu'il est nécessaire d'avoir un grand nombre de turbines pour amortir suffisamment la vitesse du jet fluide. La légèreté et les dimensions très faibles des pièces mises en mouvement permettent d'ailleurs d'admettre des vitesses de rotation très grandes par rapport à celles des machines usuelles. Il faut que, malgré la multiplicité des organes, les appareils soient simples dans leur agencement, qu'ils soient susceptibles d'une grande précision, que les vérifications et les réparations en soient rendues faciles. »

On ne saurait mieux poser le problème ni montrer plus nettement la voie. L'ensemble imaginé par Tournaire comprenait plusieurs séries de turbines, de diamètres croissants, parcourues successivement par la vapeur. Chaque série devait posséder un axe distinct : sur ce dernier point, le système différait des modèles actuellement en usage. Mais, à cette variante près, ne croirait-on pas lire la description d'un des types les plus récents? « Chacun des axes, dit-il, portera plusieurs turbines ou roues à aubes. . . . . .

Celles-ci recevront et verseront le fluide à une même distance de l'axe. Entre deux turbines est placée une couronne fixe d'aubes directrices. Le jet fluide arrive à la première turbine par des orifices injecteurs. Ensuite les directrices recevront le jet sortant d'une roue à réaction et lui imprimeront la direction et la vitesse la plus convenable pour que ce jet exerce son action sur la roue suivante. Chacun de ces systèmes d'organes mobiles et d'organes fixes sera renfermé dans une boîte cylindrique. Les aubes directrices feront partie des bagues ou pièces annulaires qui se logeront dans le cylindre fixe et qui devront s'adapter très exactement les unes au-dessus des autres. Les turbines auront ainsi la forme de bagues et viendront s'enfiler sur un manchon dépendant de l'axe. Quelques nervures s'encastrant dans des rainures rendront les directrices solidaires avec la boîte cylindrique, les turbines solidaires avec l'axe. . . . . Comme la vapeur se détendra au fur et à mesure qu'elle parcourra les aubes des roues et des directrices, il faudra que ces aubes offrent des passages de plus en plus larges. » A cause de sa conception d'une machine composée de plusieurs séries de roues montées sur des axes distincts, Tournaire ajoute : « Et les derniers appareils auront des dimensions plus grandes que les premiers ».

Les turbines qu'il a en vue sont à réaction : « Le travail moteur exercé sur ces roues, explique-t-il, proviendra en plus grande partie, non de l'extinction de la vitesse réelle du jet fluide, mais de la différence des pressions à l'entrée et à la sortie des aubes. Cette différence de pression devra produire un grand excès de la vitesse relative de sortie sur la vitesse relative d'entrée. . . . . »

Les principales causes de perte sont ainsi annoncées : « Une partie du fluide, s'échappant par les intervalles de jeu qu'il est nécessaire de laisser entre les pièces mobiles et les pièces fixes, n'aura point d'action sur les turbines et ne sera point guidée par les directrices. Il se produira des chocs et des tourbillonnements à l'entrée et à la sortie des aubes. Les frottements, que l'étroitesse des canaux rendra considérables, pourront absorber une assez notable partie du travail mécanique. »

Voici enfin comment s'exprime Tournaire au sujet de l'exécution : « Pour que l'application de nos principes aux machines mues par les fluides élastiques soit suivie de succès, il faudra qu'une très grande précision et un très grand soin soient apportés à la construction et au montage des pièces, que les dimensions et les tracés des aubes et des canaux soient attentivement étudiés. Il importera que les dents des pignons, qui seront animés de très grandes vitesses, fonctionnent d'une manière très douce, sans chocs et sans secousses. . . . . »

En ajoutant la nécessité d'employer, dans la confection des organes tournants, des matériaux assez tenaces et des assemblages assez solides pour résister aux valeurs considérables de la force centrifuge, on aurait là l'énumération complète des difficultés de construction afférentes à cette classe de machines.

En fait, ce sont ces difficultés de construction qui ont surtout retardé, pendant longtemps, la réalisation de turbines à vapeur susceptibles d'un service pratique. Il fallait les matériaux de qualité supérieure, la haute précision d'ajustage dont on dispose au-

jourd'hui, l'expérience que l'on a acquise des grandes vitesses de rotation. Il fallait aussi, pour améliorer le rendement des appareils, que les ingénieurs fussent plus instruits qu'autrefois des lois de l'écoulement de la vapeur, afin de pouvoir établir rationnellement le tracé des distributeurs et celui des aubes réceptrices.

Lorsqu'on a affaire, comme dans l'étude des turbines hydrauliques, à un fluide incompressible au sein duquel les phénomènes calorifiques sont négligeables, il suffit, pour prévoir les vitesses d'écoulement (abstraction faite de l'influence des frottements, des tourbillonnements et des chocs), d'écrire l'équation de Bernoulli. Celle-ci n'exprime pas autre chose que la conservation de l'énergie : c'est la balance entre l'énergie potentielle, simplement proportionnelle dans ce cas à la pression, et l'énergie cinétique. Pour l'écoulement adiabatique de la vapeur, une relation analogue existe; mais, en balance avec l'énergie cinétique, il faut mettre une énergie potentielle qui est fonction à la fois de la pression et de la température, si c'est de la vapeur surchauffée, de la pression et du titre si c'est de la vapeur humide. La question est donc plus complexe.

Grâce au concours de la théorie et de l'expérimentation, on possède aujourd'hui, sur les phénomènes de cette nature, des notions assez complètes pour guider le constructeur.

Lorsque la vapeur s'écoule, soit dans les ajutages d'un distributeur, soit dans les intervalles compris entre les aubes d'une turbine à réaction, il convient que chacun des canaux soit profilé de manière que l'écoulement ait lieu, autant que possible, sans tourbillonnements : le phénomène étant d'abord supposé adiabatique, on retrouvera de cette manière aussi intégralement que possible, sous forme de demi-force vive du jet, l'énergie potentielle perdue par la vapeur. Le débit en poids, constant d'un bout à l'autre du canal, est le produit du débit en volume par le poids spécifique du fluide; or le débit en volume est lui-même le produit de la section par la vitesse. La section doit donc varier en raison inverse du produit de la vitesse par le poids spécifique. Mais à mesure que la vapeur se détend en parcourant le canal, sa vitesse augmente et son poids spécifique diminue. Le produit de ces deux variables est d'abord croissant; puis, si le rapport est assez petit de la pression d'aval à la pression d'amont, il passe par un maximum et décroît. Pour la vapeur d'eau, le maximum a lieu quand la pression s'est abaissée aux $\frac{58}{100}$ environ de la pression initiale. Il en résulte que le canal dont il s'agit doit aller se rétrécissant de l'amont vers l'aval, s'il ne doit être le siège que d'une faible chute de pression; si, au contraire, il s'agit d'une tuyère destinée à une détente assez importante pour que la pression baisse de plus des $\frac{58}{100}$ de sa valeur initiale, le profil doit être convergent d'abord, puis divergent. Le débit, en ce cas, est d'ailleurs déterminé uniquement par la section du col; la partie divergente qui fait suite à celui-ci sert à canaliser la vapeur sans tourbillonnements jusqu'à ce qu'elle ait acquis toute la vitesse de jet que comporte la faible valeur de la pression d'aval.

Les principes qui président à la construction des moteurs hydrauliques sont d'ailleurs à appliquer ici; on s'attachera à faire entrer le fluide sans choc dans les divers canaux

qui le reçoivent et l'on recueillera, sous forme de travail, aux pertes extérieures près, la différence entre l'énergie potentielle correspondant à l'état initial de la vapeur et l'énergie, tant potentielle que cinétique, qu'elle emporte hors de la machine. On doit donc réduire le plus possible cette énergie finale sous ses deux formes : sous la forme cinétique, en tâchant que la vitesse absolue de la vapeur soit très faible au sortir de l'appareil, selon la règle classique des hydrauliciens; sous la forme potentielle, en poussant très loin la détente et n'abandonnant le fluide qu'à un condenseur donnant un vide excellent. Ceci a, en outre, l'avantage de faire tourner le système au contact de milieux plus raréfiés, donnant lieu à de moindres frottements. La théorie et la pratique ont été d'accord pour montrer que l'emploi de la condensation est d'une haute importance pour le bon rendement des turbines à vapeur.

Quant à l'état initial du fluide, il y a grand avantage à employer la vapeur surchauffée pour éviter les condensations intérieures et, de même que ci-dessus, réduire les frottements.

Un assez grand nombre d'inventeurs, à diverses époques, ont proposé des turbines radiales, centripètes ou centrifuges : M. C. A. Parsons, notamment, bien qu'il eût débuté par la disposition axiale à laquelle il devait s'arrêter définitivement, a essayé, en 1890 et 1891, des turbines radiales des deux genres. Mais la disposition axiale, où la vapeur circule parallèlement à l'arbre des roues, est la seule aujourd'hui usitée.

Classification. — Suivant que la détente du fluide a lieu en partie seulement dans les distributeurs fixes et pour le reste dans les aubes des roues réceptrices, ou qu'elle s'accomplit tout entière dans les distributeurs, les machines sont dites « turbines à réaction » ou « turbines d'action pure ». Le système Parsons appartient à la première catégorie, le système de Laval à la seconde.

Dans le premier cas, la machine est toujours à roues multiples : on dispose sur un axe une série de couronnes d'aubes mobiles (jusqu'à 50 couronnes et plus) séparées par des couronnes d'aubes fixes, orientées en sens inverse et formant distributeurs. La détente de la vapeur a lieu progressivement, au fur et à mesure qu'elle parcourt la série continue des couronnes d'aubes. Les turbines sont nécessairement, dans ce cas, à injection totale.

A l'orientation près des courbures, le dessin des couronnes d'aubes fixes est le même que celui des couronnes mobiles : seulement c'est un dessin qui se modifie par degrés, de l'amont à l'aval, de manière à tenir compte du changement progressif d'état de la vapeur. Considérons (fig. 616) deux couronnes contiguës, par exemple une couronne distributrice et la couronne mobile suivante, situées d'une manière quelconque dans la série. De la couronne mobile précédente, la couronne distributrice a reçu la vapeur animée d'une vitesse u_0 et sous un angle d'entrée α_0 assez ouvert : c'est suivant la direction marquée par cet angle α_0 que doit être tracé le premier élément de profil des aubes distributrices. En parcourant les canaux compris entre ces aubes, le fluide modifie le sens de son mouvement : entré de droite à gauche, il sort de gauche à

droite et dans une direction qui fait, avec le bord de la couronne, un angle α_1, notablement moindre que α_0. En même temps, il a subi une certaine détente, à laquelle est appropriée la forme des canaux, et sa vitesse de sortie u_1 est notablement supérieure à u_0. Dans le mouvement relatif par rapport à la couronne des aubes mobiles, la vitesse d'entrée w_0 de la vapeur est la résultante de u_1 et de $-v$, v étant la vitesse linéaire de cette couronne (vitesse périphérique de la turbine). C'est donc une vitesse moindre que u_1 et faisant, avec le bord de la couronne, un angle β supérieur à α_1 : si, par exemple, on avait $\alpha = 20^0$ et $v = \frac{u_1}{2}$, il en résulterait $w_0 = 0{,}56\, u_1$ et $\beta = 38^\circ$. Or, on a disposé l'épure et calculé les sections de manière à avoir $\beta = \alpha_0$ et sensiblement $w_0 = u_0$. La vapeur, dans son mouvement relatif par rapport à la turbine, arrive donc à celle-ci sous le même angle et à la même vitesse que, dans le mouvement absolu, elle était arrivée au distributeur. Dès lors, si l'on donne aux aubes de la turbine le même tracé qu'à celles du distributeur, mais avec orientation inverse, le fluide, considéré dans son mouvement relatif par rapport à la turbine, sort de celle-ci sous l'angle α_1 et avec une vitesse w_1 peu différente de u_1. A la sortie, cette vitesse relative se compose avec la vitesse v pour redonner une vitesse absolue peu différente de u_0 et faisant avec le bord de la couronne un angle peu différent de α_0, de telle sorte que, si l'on continuait à ne pas tenir compte du changement progressif d'état de la vapeur, on pourrait dire que la couronne distributrice suivante devra à son tour être du même dessin.

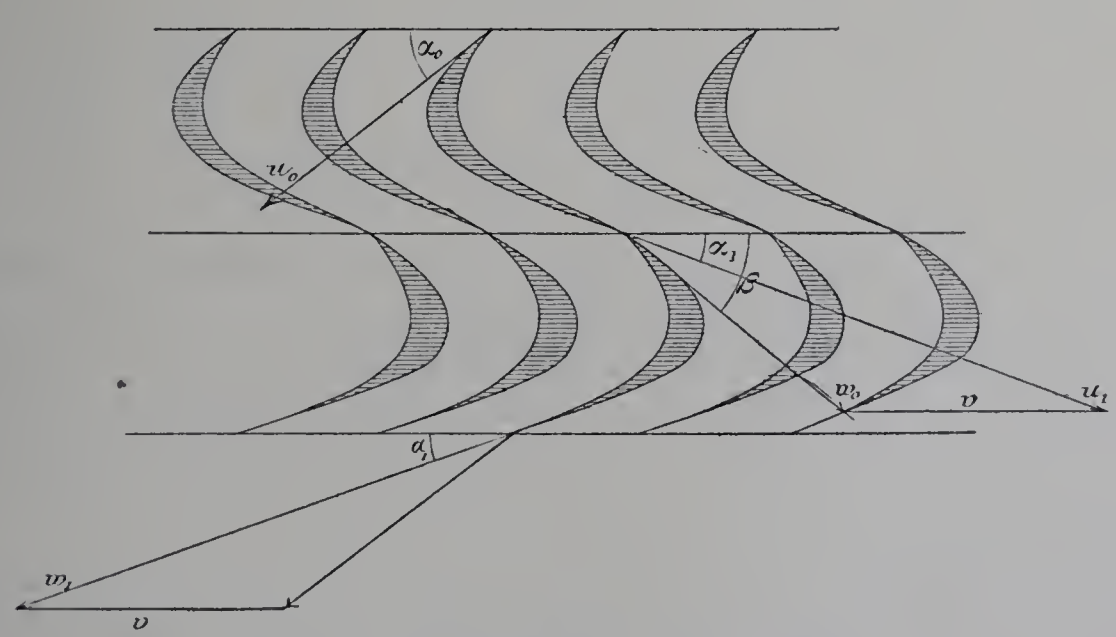


Fig. 616. — Principe de la turbine à réaction.

Aux pertes près, il est clair que, durant son passage au travers de la couronne mobile, la vapeur a subi une réduction d'énergie potentielle égale à son accroissement de demi-force vive, c'est-à-dire à $\frac{w_1^2 - w_0^2}{2g}$, grandeur peu différente de $\frac{u_1^2 - u_0^2}{2g}$. Autrement dit, la diminution utile d'énergie potentielle subie par la vapeur dans ses deux passages successifs au travers du distributeur et au travers de la roue réceptrice s'est partagée par moitié entre ces deux passages. La première partie s'est trouvée transformée en

énergie cinétique par le distributeur, de sorte que la turbine a reçu, moitié sous forme cinétique, moitié sous forme potentielle, l'énergie totale qu'elle a transformée en travail. La turbine a ainsi pour degré de réaction 1/2.

Dans les turbines d'action pure, c'est uniquement dans les ajutages distributeurs que la vapeur se détend. La chute totale de pression entre la chaudière et le condenseur peut d'ailleurs être, soit réalisée d'un seul coup dans une tuyère unique (c'est-à-dire, pratiquement, dans un jeu unique de tuyères associées en quantité), soit fractionnée par échelons entre plusieurs jeux successifs d'ajutages distributeurs, séparés par autant de turbines réceptrices. Le principe n'est donc pas exclusif du système des roues multiples avec détente en cascade, si avantageux pour réduire la vitesse angulaire. Toutefois, la turbine de Laval n'a pas recours à cet artifice : elle ne comporte qu'un seul jeu de tuyères suivi d'une seule roue réceptrice.

Quoi qu'il en soit, dans les turbines d'action pure, la roue réceptrice, ou chacune des roues réceptrices, tourne comme une turbine hydraulique à libre déviation, dans un milieu à pression constante. La vapeur sort de chacune des tuyères à la pression même de ce milieu, sous forme d'un jet auquel on peut, sans qu'il modifie sa trajectoire, laisser franchir un espace libre. Il n'est donc point besoin de s'attacher à trop réduire les jeux entre les tuyères et la turbine, ni entre celle-ci et son enveloppe. Pour la même raison, il importe peu que la turbine soit à injection totale ou partielle : on est libre de lui fournir le débit de vapeur nécessaire à la puissance que l'on a en vue, au moyen d'un nombre quelconque de tuyères, que l'on peut, abstraction faite de quelques effets accessoires, répartir d'une manière arbitraire le long de la circonférence.

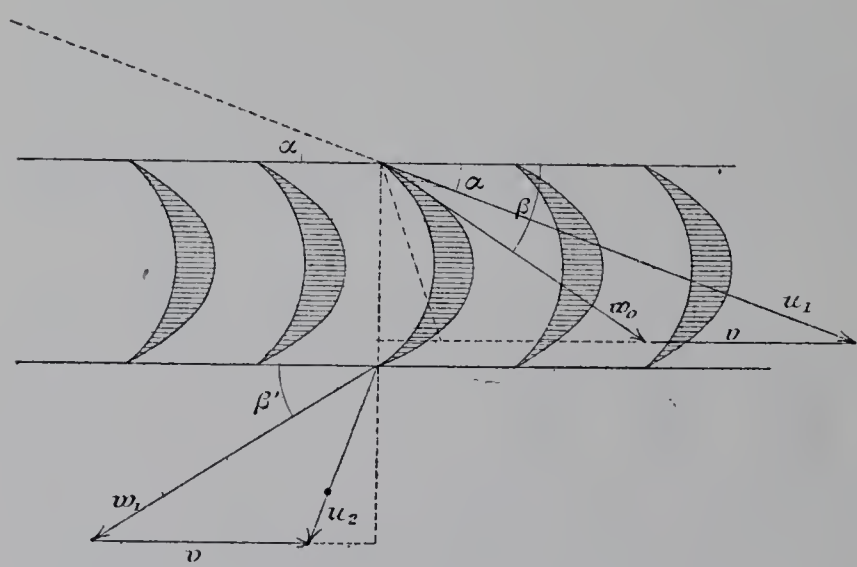


Fig. 617. — Principe de la turbine d'action pure.

Les aubes de la turbine sont profilées (fig. 617) de façon que les canaux parcourus par la vapeur, dans les intervalles de ces aubes, soient de section uniforme; de la sorte, le fluide y chemine à peu près sans modifier son état, et à vitesse constante, comme ferait un liquide placé dans les mêmes conditions. Lancée par la tuyère à une vitesse u_1 et sous un angle d'incidence α voisin de 20 degrés, la vapeur, dans son mouvement relatif par rapport à la couronne mobile, pénètre dans celle-ci avec une vitesse w_0 qui est la résultante de u_1 et de $-v$: cette vitesse relative est très inférieure à u_1 et fait, avec le bord de la couronne, un angle β beaucoup plus ouvert que α. C'est suivant la direction marquée par cet angle β que doit, autant que possible, être tracé le premier élément du profil des aubes. A la sortie, la vitesse relative a une valeur w_1 qui, sans les pertes

par frottement, serait égale à w_0; elle fait, avec le bord de la couronne, un angle β' dont la valeur dépend du tracé des aubes. Cette vitesse relative w_1 se compose avec v pour donner une vitesse absolue u_2 qui doit, pour un bon rendement, être aussi petite que possible.

La vapeur était sortie de la tuyère avec une énergie cinétique $\frac{u_1^2}{2g}$, acquise au prix de la disparition d'une partie plus ou moins grande de son énergie potentielle. Par le passage dans la turbine, l'énergie potentielle qu'elle conservait encore ne s'est plus sensiblement modifiée; mais son énergie cinétique s'est réduite à $\frac{u_2^2}{2g}$. Aux pertes près, la différence $\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g}$ a été transformée en travail. Le rendement théorique de la turbine considérée seule (indépendamment des ajutages) est donc $\frac{u_1^2 - u_2^2}{u_1^2}$.

En général, les aubes ont une forme symétrique, de sorte que β' est égal à β. Si on avait, en même temps, $w_1 = w_0$, il en résulterait

$$u_2^2 = u_1^2 + 4\,v^2 - 4\,u_1\,v\cos\alpha.$$

La valeur du rendement théorique de la turbine deviendrait

$$4\,\frac{v}{u_1}\left(\cos\alpha - \frac{v}{u_1}\right);$$

le maximum aurait lieu pour

$$\frac{v}{u_1} = \frac{\cos\alpha}{2}.$$

Avec $\alpha = 20°$, on a

$$\frac{\cos\alpha}{2} = 0{,}47$$

et la valeur de ce maximum, s'il pouvait être réalisé, s'élèverait à 0,88.

Malheureusement on reste toujours plus ou moins loin de ces conditions théoriques; le profil des aubes n'évite pas tout choc à l'entrée, w_1 est nécessairement moindre que w_0 à cause des frottements et, dans les turbines à un seul disque comme la turbine de Laval, u_1 est si considérable que v ne saurait être rendu égal à $0{,}47\,u_1$.

Dans les turbines à réaction, la différence des pressions entre l'amont et l'aval des roues produit une forte poussée longitudinale sur l'arbre, qu'il est nécessaire de contrebalancer par divers artifices. Les turbines d'action pure sont à peu près exemptes de cette poussée.

Turbine Parsons. — C'est en 1884 que M. C. A. Parsons, dont les premiers travaux sur les machines rotatives remontaient à 1876, créa son type de turbine multiple à réaction. Le premier appareil de l'espèce, maintenant déposé au musée de South Kensington, était d'une puissance de 10 chevaux; directement accouplé à une petite dynamo, il tournait à l'énorme vitesse de 18,000 tours par minute. Une disposition spéciale de coussinets, laissant au système la liberté de tourner rigoureusement autour

de son axe d'inertie, avait été étudiée afin de rendre possible cette rapidité de rotation. Le système comprenait deux séries de 15 couronnes mobiles, symétriquement disposées de part et d'autre d'une arrivée de vapeur centrale. Elles étaient toutes de même diamètre; seule l'inclinaison des aubes se modifiait progressivement dans chaque série, diminuant de l'amont à l'aval, de manière que la vapeur trouvât des passages proportionnés à son accroissement de volume. Le moteur fonctionnait d'ailleurs sans condensation et la vapeur en sortait à une pression quelque peu supérieure à celle de l'atmosphère.

Jusque vers 1890, les dispositions des *turbo-moteurs* Parsons ne présentèrent pas, par rapport à ce premier modèle, de différence de principe. C'étaient de petits engins dont la puissance ne dépassa guère 50 chevaux. Leur vitesse de rotation, moindre que celle de l'exemplaire primitif, demeurait encore extrêmement élevée : de 7,000 à 12,000 tours par minute. Un turbo-moteur actionnant une dynamo de 16 kilowatts tournait à environ 10,000 tours; il comprenait, de part et d'autre de l'arrivée de vapeur, deux séries de 30 couronnes mobiles. Cette disposition symétrique supprimait toute résultante de poussée longitudinale. La vapeur détendue était recueillie aux extrémités du moteur dans deux conduits qui la ramenaient à une tubulure commune d'échappement, située au droit de la partie centrale. Les aubes étaient taillées à la périphérie d'une suite de disques en bronze; ceux-ci étaient enfilés sur l'arbre, dont ils étaient rendus solidaires par une clavette, et serrés moyeu contre moyeu. Les aubes fixes étaient taillées, de même, à la circonférence intérieure d'une série d'anneaux de bronze juxtaposés. Le graissage était assuré par une circulation d'huile obtenue mécaniquement. La constance de la vitesse était obtenue par étranglement de la vapeur à l'amont de la machine, au moyen d'un papillon placé sous la dépendance d'un régulateur électrique.

C'est à cet état que se trouvait le système Parsons lors de l'Exposition universelle de 1889. Il y attira très vivement l'attention. M. J. Hirsch, dans son rapport, en parle comme de l'*une des merveilles de l'Exposition* : « Quoique plus de 2,000 chevaux électriques aient déjà été fournis sous forme de turbo-moteurs, dit-il, il n'en est pas moins vrai que cet admirable outil n'en est, pour ainsi dire, qu'à ses débuts; mais ceux-ci semblent pleins de promesses. »

Nous avons dit que, dans les premiers appareils, les couronnes associées en série étaient toutes de même diamètre; elles formaient par leur ensemble un long tambour cylindrique. De l'amont à l'aval, on ne faisait varier tout d'abord que l'inclinaison des aubes; bientôt l'on fit, en même temps, croître leur hauteur. Mais ce n'était pas suffisant pour une détente prolongée. M. Parsons ne tarda pas à se rendre compte qu'il convenait de faire suivre le premier tambour d'un second, composé de couronnes en moindre nombre mais de plus grand diamètre, puis d'un troisième encore plus gros et plus court, de manière à pouvoir proportionner les passages au volume rapidement croissant de la vapeur à basse pression. On donna le nom de turbine à triple expansion au type caractérisé par trois diamètres successifs.

La condensation fut réalisée pour la première fois en 1891. Ce fut un progrès capital

sous le rapport de la consommation de vapeur, jusque là excessive. En même temps l'on entrait dans la voie des unités puissantes : on construisit dès cette époque des moteurs de 200 chevaux et plus. Depuis lors on n'a cessé d'accroître la puissance des appareils et la tendance est de s'avancer de plus en plus hardiment dans cette voie.

MM. C. A. Parsons et Cie présentent à l'Exposition deux turbo-alternateurs, appartenant au type représenté par les figures 618 et 619, dont le plus important développe 500 kilowatts. Mais ce n'est pas le maximum des puissances réalisées ni surtout de celles que prépare l'avenir. Les turbo-alternateurs de la nouvelle usine électrique d'Elberfeld (Westphalie), dont le premier a été établi en 1899, sont de 1,000 kilowatts chacun. On ira sans difficulté beaucoup plus loin encore, et le rendement ne peut qu'y gagner.

On a considérablement réduit les vitesses de rotation ; c'est d'autant plus facile qu'il s'agit de moteurs plus puissants, puisque les turbines de plus grand diamètre ont une vitesse angulaire moindre à égalité de vitesse périphérique. Pour les puissances modestes, les vitesses usuelles sont voisines de 3,000 tours par minute. La machine de 500 kilowatts installée à l'Exposition tourne à 2,400 tours. Le type d'Elberfeld fait 1,500 tours seulement. Ces allures sont assez modérées pour permettre la conduite directe des alternateurs : s'il s'agit de courants à 50 périodes par seconde, on fait tourner l'induit à 3,000 tours dans un champ magnétique à deux pôles ou à 1,500 tours dans un champ tétrapolaire. On a ainsi des alternateurs remarquablement peu encombrants.

On ne s'astreint plus à composer l'appareil de deux séries symétriques de couronnes : on préfère ne pas diviser la puissance de la turbine et l'on n'a ainsi qu'un seul conduit allant au condenseur. Pour contre-balancer les poussées longitudinales, on fait correspondre aux trois tambours moteurs successifs, de l'autre côté de l'arrivée de vapeur, trois pistons compensateurs de diamètres croissants ; des communications de vapeur sont établies entre les faces terminales de chaque tambour et les faces homologues du piston correspondant. Les pistons sont rainurés et tournent dans des séries de bagues portées par l'enveloppe ; si, malgré les précautions prises, un défaut d'étanchéité se produit autour du piston n° 1 ou 2, la vapeur de la fuite est recueillie par la communication suivante et va travailler dans le tambour n° 2 ou n° 3.

Un trait qui surprend au premier abord dans la physionomie de la machine, c'est qu'elle possède des pièces à mouvement alternatif. Ce sont les organes de commande de divers services auxiliaires, notamment de l'admission de vapeur à réglage automatique.

En effet, un régulateur, qui est électro-magnétique sur les deux appareils électrogènes de 500 et de 50 kilowatts présentés à l'Exposition, qui pourrait être mécanique s'il s'agissait d'applications différentes, gouverne l'arrivée de vapeur, mais non pas en produisant un étranglement constant pour chaque régime. La vapeur est toujours servie autant que possible à pleine pression ; seulement elle arrive par bouffées ; la période de succession de ces bouffées demeure constante tant que la vitesse de rotation de la machine ne varie pas, mais la durée de chacune d'elles est d'autant plus grande que la puissance à fournir est plus considérable.

Dans ce but, l'admission de vapeur est commandée par une soupape à double siège

IMPRIMERIE NATIONALE.

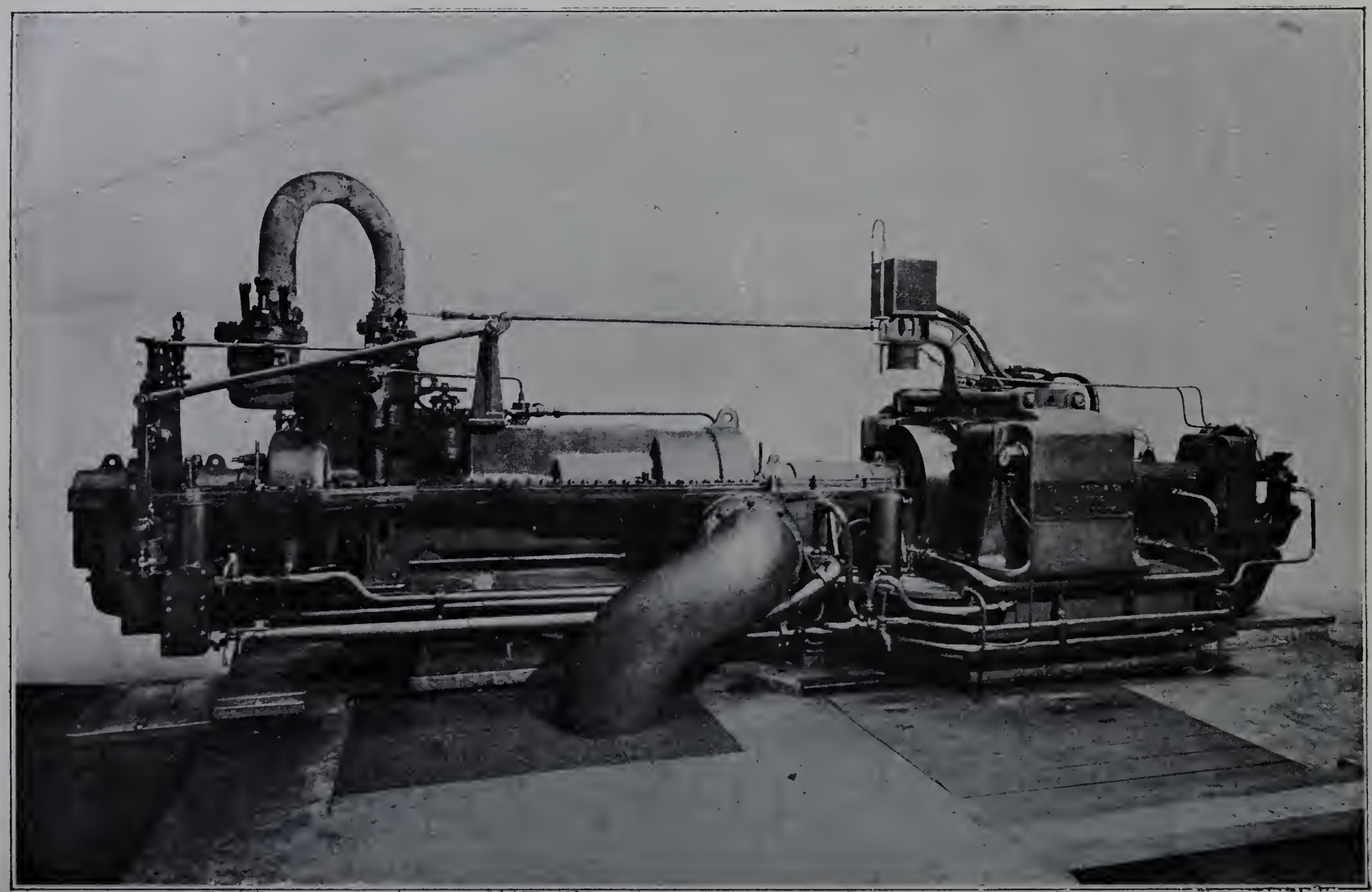


Fig. 618. — Turbine Parsons.

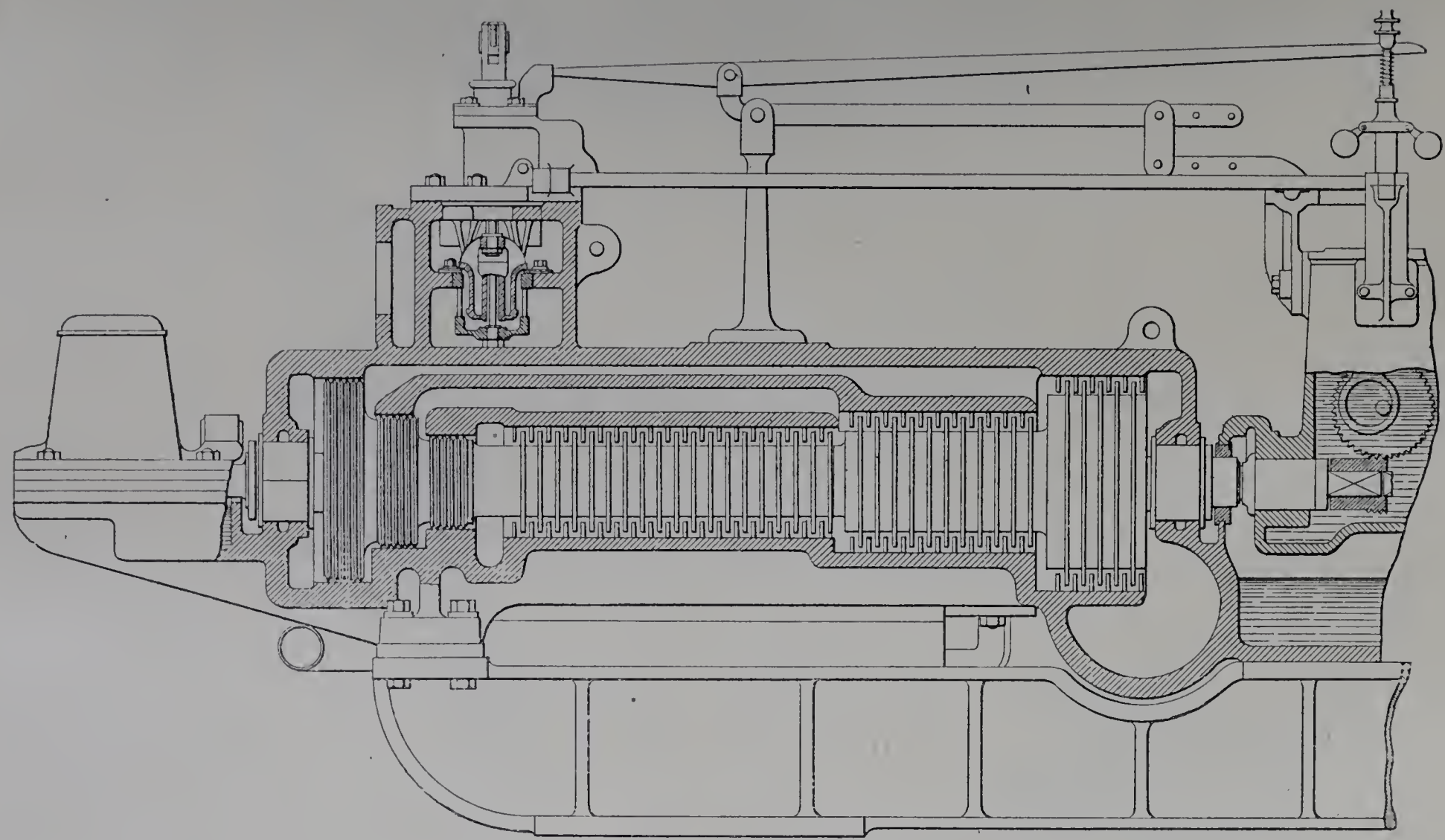


Fig. 619. — Turbine Parsons. — Coupe

qui s'ouvre et se ferme alternativement sous l'action d'un servo-moteur. Celui-ci se compose d'un piston à vapeur mobile dans un cylindre; c'est un petit moteur auxiliaire à mouvement alternatif, auquel la distribution est donnée par un tiroir. La commande de celui-ci est prise sur la machine principale, ou pour mieux dire sur un plateau tournant qui dépend de celle-ci, mais qui n'a par rapport à elle qu'une vitesse angulaire très réduite : la réduction est obtenue au moyen d'un engrenage hélicoïdal. L'élément sur lequel agit directement le régulateur est la position moyenne du tiroir. Celui-ci donne donc une distribution variable, par suite de laquelle, durant chacune de ses oscillations. le piston du servo-moteur et avec lui la soupape d'admission de la turbine se tiennent levés plus ou moins longtemps.

On peut en outre recourir à une soupape d'admission supplémentaire pour les cas où la machine doit travailler en surcharge.

Entre les tambours cerclés d'aubes mobiles et l'enveloppe tapissée d'aubages fixes, le constructeur s'applique à réduire les jeux le plus possible. On ne saurait cependant pousser jusqu'au contact le rapprochement de ces parties. Il faut donc se résigner à subir une certaine perte par l'effet des fuites. Cet inconvénient a pour contre-partie un avantage : aucun graissage intérieur n'est nécessaire. Les paliers sont les seules parties du système tournant qu'on ait à lubrifier. La circulation de l'huile est assurée par des pompes.

Le condenseur, installé en sous-sol pour la turbine de 500 kilowatts et formant partie du socle pour celle de 50, est desservi par des pompes actionnées par un balancier.

Turbine de Laval. — Après avoir créé, en 1883, un moteur à réaction, qui fut appliqué à une « écrémeuse automatique », M. Gustave de Laval s'est attaché à partir de 1889 à la constitution d'une turbine d'action pure. La première installation du système a eu lieu en 1892. Dès le début cette turbine s'est montrée remarquable par ses dimensions minimes et par la commodité de son emploi, surtout dans les menues applications. Depuis lors, une série de progrès, portant sur le choix des matériaux, sur le détail des formes, sur le fini de l'exécution, en ont porté la construction à un haut degré de perfection et sont parvenus, pour les puissances importantes, à en abaisser beaucoup la consommation de vapeur.

A l'Exposition, le système est présenté dans la Section suédoise par la Société anonyme des turbines à vapeur de Laval, dont le siège est à Stockholm, et dans la Section française, par la Société de Laval, de Paris.

Comme principe, deux traits, qui ne sont nullement inséparables, caractérisent cette turbine : l'action pure et l'emploi d'une seule roue réceptrice. La chute de pression totale, de la chaudière au condenseur, est obtenue d'un seul coup dans chacun des ajutages de distribution. Ces ajutages sont associés en quantité, en plus ou moins grand nombre selon la puissance à obtenir. Chacun d'eux, vu la grande chute de pression qui s'y produit, a la forme d'une tuyère divergente faisant suite à un col rétréci (fig. 620 et 621).

Les jets de vapeur qui en sortent, à l'intérieur d'une boîte où règne la pression du

condenseur, sont animés d'une vitesse considérable : avec 10 kilogrammes par centimètre carré pour pression d'amont et 100 grammes pour pression d'aval, cette vitesse atteindrait près de 1,200 mètres par seconde, s'il y avait écoulement adiabatique sans aucune perte d'énergie; avec 10 p. 100 de perte d'énergie dans l'ajutage, elle serait encore de 1,100 mètres environ.

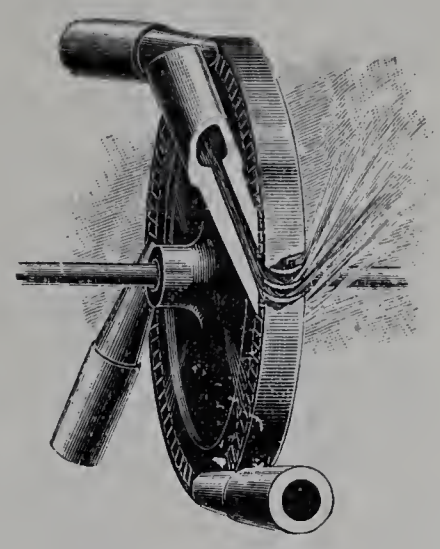


Fig. 620. — Principe de la turbine de Laval.

Ces jets sont lancés, sous une incidence aussi rasante que possible ($\alpha = 17^\circ$ à 20°), sur les aubes d'une turbine dont la vitesse périphérique devrait, pour bien faire, atteindre 0.47 ou 0.48 de celle de la vapeur, c'est-à-dire être de plus de 500 mètres par seconde si la vapeur sort à la vitesse de 1,100 mètres. On ne construit pas de disques à aubes susceptibles d'atteindre une aussi grande vitesse circonférentielle, mais on va jusqu'aux environs de 400 mètres. Dans le modèle le plus puissant, celui de 300 chevaux, la turbine mesure 0 m. 75 de diamètre et fait, en marche normale, 9,000 ou 10,000 tours par minute, ce qui donne 350 à 390 mètres par seconde à la circonférence. On est même allé, paraît-il, jusqu'à 410 mètres en marche industrielle. Dans les moteurs de moindre puissance, les disques sont plus petits; le nombre de tours croît, mais la vitesse linéaire des aubes s'abaisse. C'est ainsi qu'une turbine de 100 chevaux a un disque de 0 m. 30 de diamètre, tournant à 15.000 tours par minute, avec une vitesse circonférentielle de

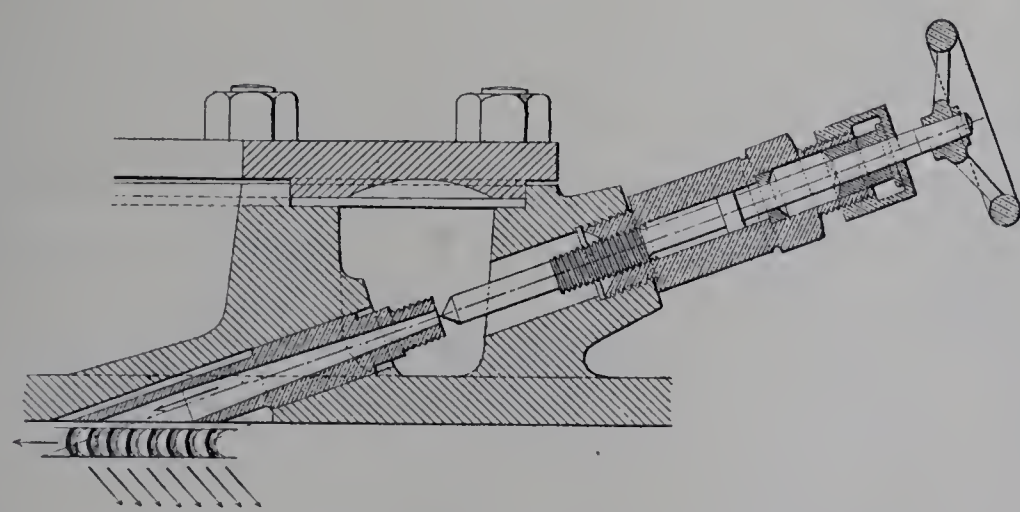


Fig. 621. — Turbine de Laval. — Coupe de la boîte de distribution de vapeur et d'un ajutage.

235 mètres par seconde. Dans le modèle de 5 chevaux, la turbine ne mesure plus que 0 m. 11 de diamètre; elle fait 30.000 tours par minute et cette énorme vitesse angulaire ne correspond pour ses aubes qu'à une vitesse linéaire de 175 mètres par seconde.

Avec de pareilles vitesses, le couple est naturellement très faible : pour développer 300 chevaux à 9.000 tours par minute, il suffit d'un couple de 24 kilogrammètres, ce qui correspond à un effort tangentiel de 64 kilogrammes à la circonférence d'un disque

de 0 m. 75 de diamètre; la puissance de 5 chevaux à 30,000 tours implique seulement un couple de 0 kgm 12, soit, à la circonférence d'un disque de 0 m. 11 de diamètre, un effort tangentiel d'un peu plus de 2 kilogrammes. De la petitesse du couple, il résulte que l'arbre portant la turbine peut être très mince : on insistera tout à l'heure sur le parti que M. de Laval a su tirer de cette circonstance.

Une autre conséquence évidente des chiffres qui précèdent, c'est que les vitesses de rotation ainsi obtenues sont, pour les besoins de l'industrie, inutilisables directement. La turbine de Laval comporte toujours un engrenage, réduisant considérablement la vitesse au profit du couple : le rapport de réduction est d'ordinaire voisin de 1/10.

Tels sont les caractères essentiels du système. Il a fallu, pour les réaliser dans des conditions aussi satisfaisantes que possible, mettre en œuvre les ressources de la construction mécanique la plus ingénieuse et la plus soignée.

Il importe que les ajutages où s'opère la détente de la vapeur soient exactement de la forme et de la longueur voulues pour assurer le meilleur rendement. La détente doit être complète et régulière, sans ressauts de pression, sans mouvements parasites de la vapeur. C'est surtout par l'expérience et le tâtonnement que l'on a déterminé les formes qui conviennent pour telle ou telle valeur des pressions d'amont et d'aval.

Dans le cas où le moteur doit pouvoir, à volonté, fonctionner avec ou sans condensation, il est nécessaire de le munir d'un double jeu de tuyères.

L'arrivée de la vapeur à chacun des ajutages est commandée par un obturateur à pointeau, que l'on peut ouvrir ou fermer au moyen d'un petit volant à main. Il résulte de ce que nous venons de dire que le passage doit être ouvert en grand ou franchement fermé : en l'étranglant, on changerait la pression d'amont et le rendement de l'ajutage deviendrait défectueux. A la vérité, pour obtenir la régulation automatique du moteur, on fait bien agir sur l'arrivée générale de vapeur un papillon placé sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge; mais, autant que possible, on ne laisse intervenir ce mode de réglage que pour les variations faibles ou instantanées de la puissance: lorsque celle-ci se modifie notablement, il importe de changer le nombre des ajutages en service, en fermant ou rouvrant un ou plusieurs obturateurs à pointeau.

Passons à la construction du disque récepteur. Tout d'abord, il faut qu'il n'éclate pas. Dans un anneau d'acier, qui serait isolé de son axe et tournerait avec une vitesse linéaire de 400 mètres par seconde, la tension tangentielle de la matière atteindrait 128 kilogrammes par millimètre carré. La solidité d'un disque tournant, animé d'une telle vitesse à sa périphérie, tient donc essentiellement à ce que la tension radiale intervient, plus que la tangentielle, pour équilibrer la force centrifuge. Pour que le disque soit partout d'égale résistance, on est conduit à le renfler progressivement vers le centre (fig. 622 et 623). S'il est percé pour le passage de l'arbre, on doit tenir compte dans le dessin de sa section méridienne de l'affaiblissement produit par le trou.

En même temps, on emploie pour la confection de ces disques un métal de choix. En 1900, la Société des turbines à vapeur de Laval se sert d'acier au nickel, ayant pour limite d'élasticité 45 kilogrammes par millimètre carré; pour charge de rup-

ture, 90 kilogrammes par millimètre carré, avec 12 p. 100 d'allongement. La tension de la matière, dans la marche normale, est d'environ 15 kilogrammes par millimètre carré.

A la périphérie de ce disque sont fixées les aubes. Elles sont en acier Bessemer d'excellente qualité, estampées à la presse, puis fraisées et calibrées. Chacune d'elles est fixée sur le disque par un assemblage à queue d'hironde, disposé de manière à résister à l'action intense de la force centrifuge et permettant néanmoins un remplacement assez facile.

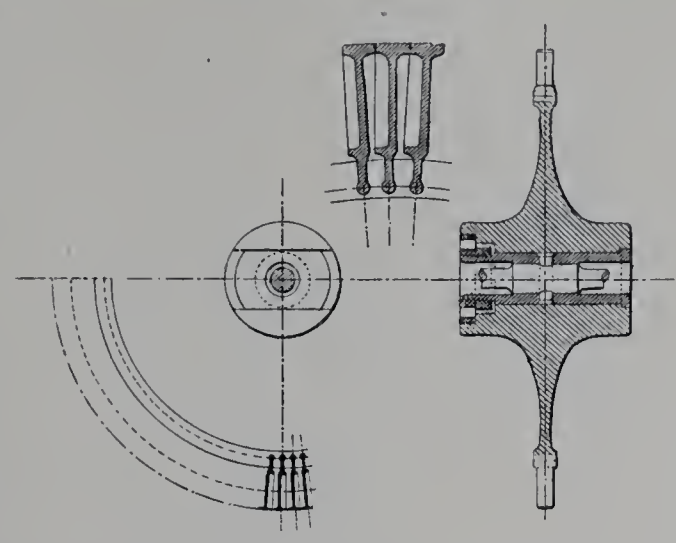


Fig. 622. — Roue à aubes avec axe évidé pour la pénétration de l'arbre.

Il ne suffit pas que la turbine soit d'une résistance assurée. Il faut encore qu'elle soit très exactement centrée et, de plus, parfaitement perpendiculaire à son axe de rotation, de manière que celui-ci ne fasse qu'un avec l'axe principal d'inertie du corps tournant. On s'attache, par la précision de la construction, à remplir ce programme aussi bien que possible. Mais on ne saurait espérer d'y parvenir avec une rigueur absolue et la moindre dissymétrie est capable de produire des efforts parasites importants; dans un système tournant, par exemple, à 20,000 tours par minute, une masse de 1 gramme située à 0 m. 10 de l'axe donne lieu à une force centrifuge de 45 kilogrammes. C'est ici que l'inventeur a mis à contribution, de la manière la plus heureuse, les propriétés des arbres flexibles. N'ayant à transmettre qu'un couple de faible valeur, l'arbre, fait d'acier, peut être d'un diamètre minime : il ne mesure, dans sa partie la plus rétrécie, que 30 millimètres pour une turbine de 300 chevaux, 5 millimètres pour une de 10 chevaux. En même temps, on lui donne une assez grande longueur pour le constituer à l'état de tige flexible. A l'une de ses extrémités, il est engagé dans un palier à rotule (fig. 624 et 630); à l'autre, c'est-à-dire du côté où se trouve le pignon d'engrenage qui transmet le travail moteur, ce pignon est compris entre deux paliers fixes et la tige flexible se trouve encastrée; mais c'est aussi de ce côté qu'est réservée la plus grande longueur d'arbre.

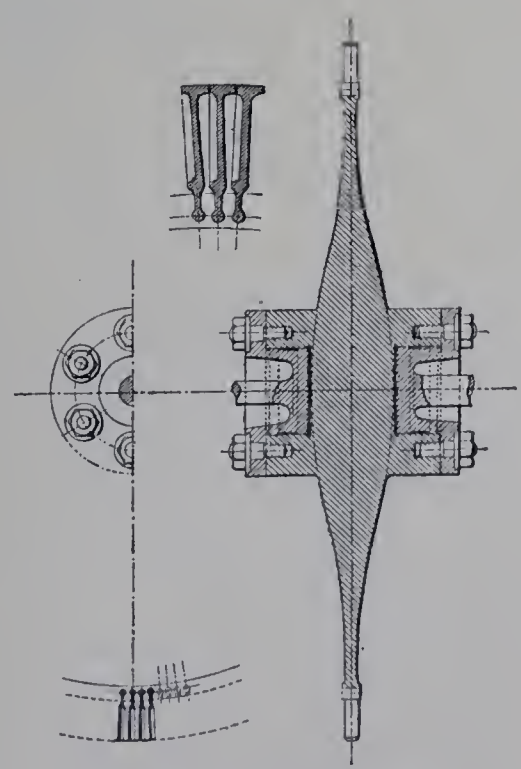


Fig. 623. — Roue à aubes sans évidement axial.

Dans ces conditions, si le plan équatorial du disque n'est pas exactement normal à l'axe de rotation, les forces centrifuges donnent lieu à un moment qui tend à le redresser.

Si le centre de gravité du disque ne se trouve pas exactement sur l'axe de rotation, les forces centrifuges tendent à l'en éloigner; mais ce déplacement met en jeu l'élasticité l'arbre; il faut, pour qu'un régime dynamique permanant s'établisse, qu'il se fasse un équilibre entre les actions d'inertie et les réactions élastiques. Le problème est d'ailleurs complexe : il faut tenir compte de ce que, l'arbre n'étant pas de même longueur de part et d'autre du disque, ni assujetti de la même manière à ses deux bouts, la distance du centre de gravité à l'axe de rotation et l'orientation du plan équatorial du disque ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Il y a une vitesse critique : c'est celle pour laquelle la durée d'un tour coïncide avec la période d'oscillation de la tige vibrante formée, entre les paliers, par l'ensemble de l'arbre mince et de son disque. Une fois dépassée cette vitesse critique, le système déformable se rapproche de plus en plus, à mesure que la vitesse s'accroît, de l'état limite pour lequel la rotation aurait lieu en toute rigueur autour de l'axe d'inertie.

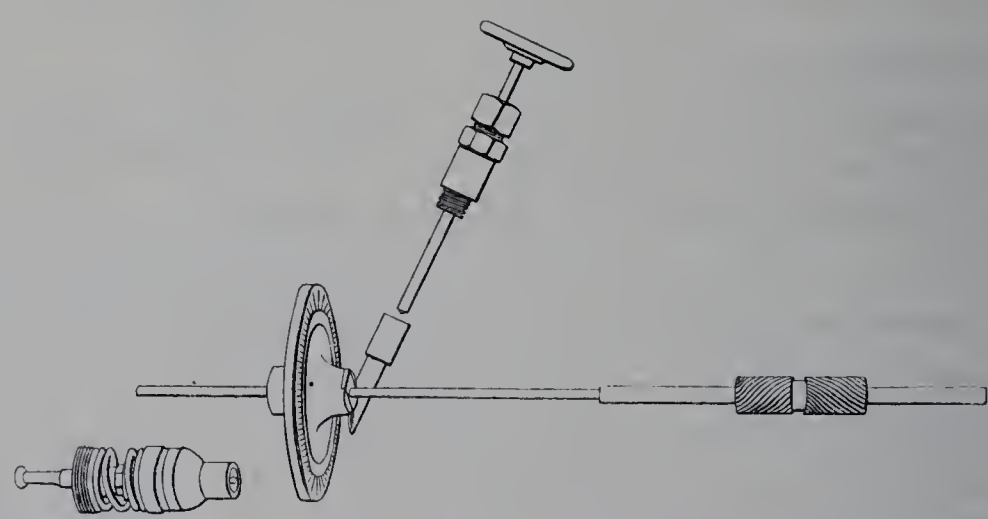


Fig. 624. — Vue de la roue à aube montée sur son arbre flexible; à côté, un ajutage. A gauche, coussinet à rotule recevant l'extrémité libre de l'arbre.

On peut voir, au stand de la Société des turbines de Laval, un appareil de démonstration, qui met en évidence ces propriétés des arbres flexibles : on fait tourner, au moyen d'une manivelle à main et d'une transmission multiplicatrice de la vitesse, un arbre mince chargé d'un disque; la vitesse critique de ce système élastique est d'environ 2,000 tours par minute : aussitôt cette vitesse dépassée, on observe une réduction subite de la résistance, par suite de la cessation des vibrations et de l'adoucissement des frottements dans les coussinets.

Nous avons dit que, du côté opposé au palier à rotule, l'arbre de la turbine porte le pignon de l'engrenage réducteur de la vitesse. Ce pignon est taillé à même dans un renflement de l'arbre. La roue d'engrenage, dont le diamètre vaut dix fois, parfois même treize fois celui des pignons, était autrefois en bronze; on la fait maintenant en acier : les dents sont taillées à la surface d'un anneau d'acier Martin, emmanché à la presse sur une poulie de fonte. Cet engrenage est à fine denture; il n'a à transmettre qu'un faible effort circonférentiel. Comme il a, en même temps, à supporter la légère poussée longitudinale exercée par la vapeur sur l'arbre de la turbine, il est à chevrons,

c'est-à-dire que pignon et roue se composent chacun de deux parties placées à la suite l'une de l'autre dans le sens de l'axe et portant des dents obliques, à 45 degrés sur l'axe, l'inclinaison de la seconde denture étant de sens contraire à celle de la première. La figure 625 représente cet ensemble des dispositions.

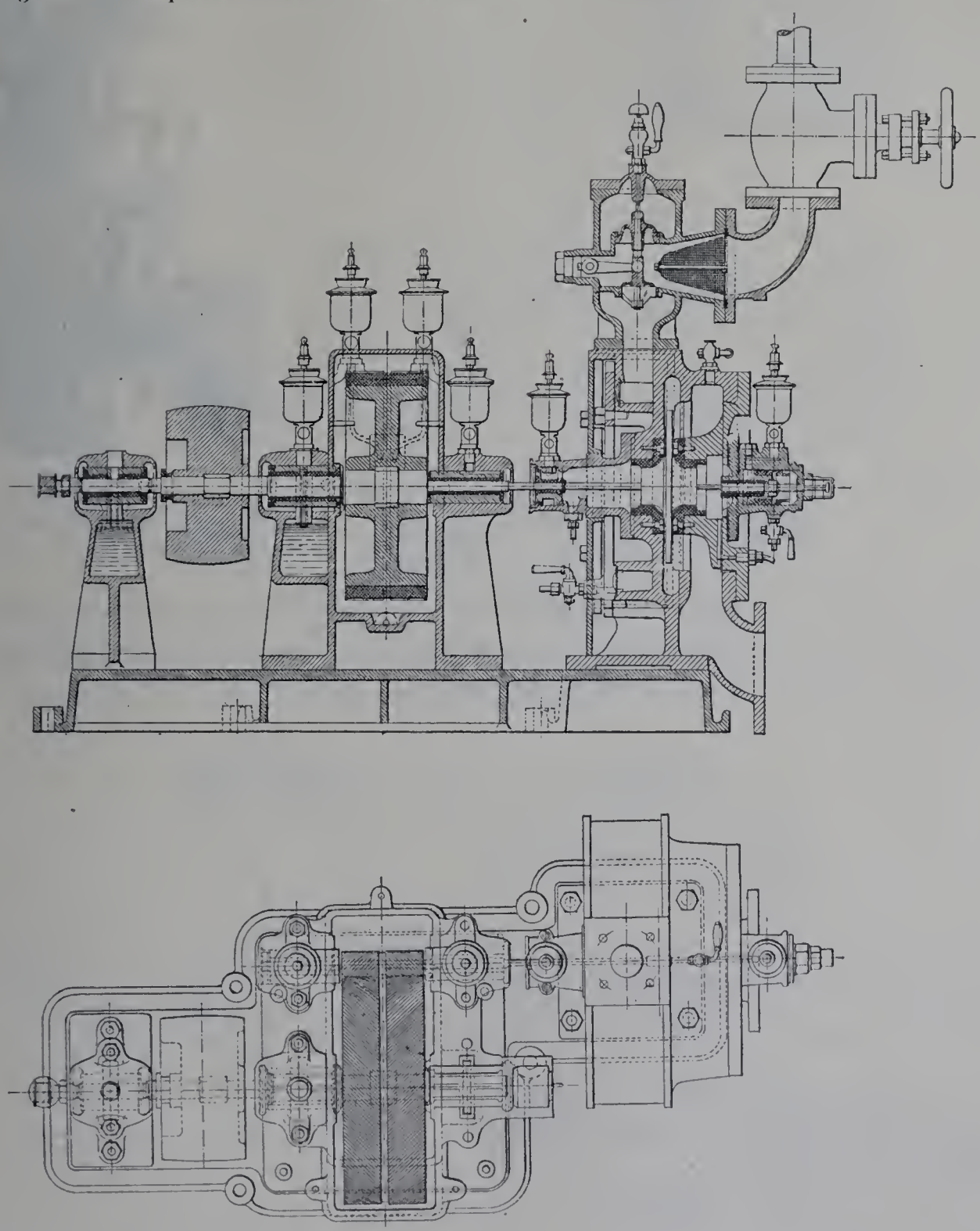


Fig. 625. — Turbine de Laval, de construction suédoise. Type de petite puissance, à un seul arbre moteur.

Le régulateur à force centrifuge (fig. 626) est monté sur l'arbre à vitesse réduite. Destiné aux variations de puissance peu étendues, il agit, comme nous l'avons expliqué, par étranglement de vapeur : la figure 627 montre la transmission B C D G, réglable par le manchon fileté E F, qui fait dépendre de la saillie de la tige A l'ouverture de la

soupape équilibrée. Le fluide traversant l'appareil avec une très grande rapidité, l'action régulatrice est instantanée.

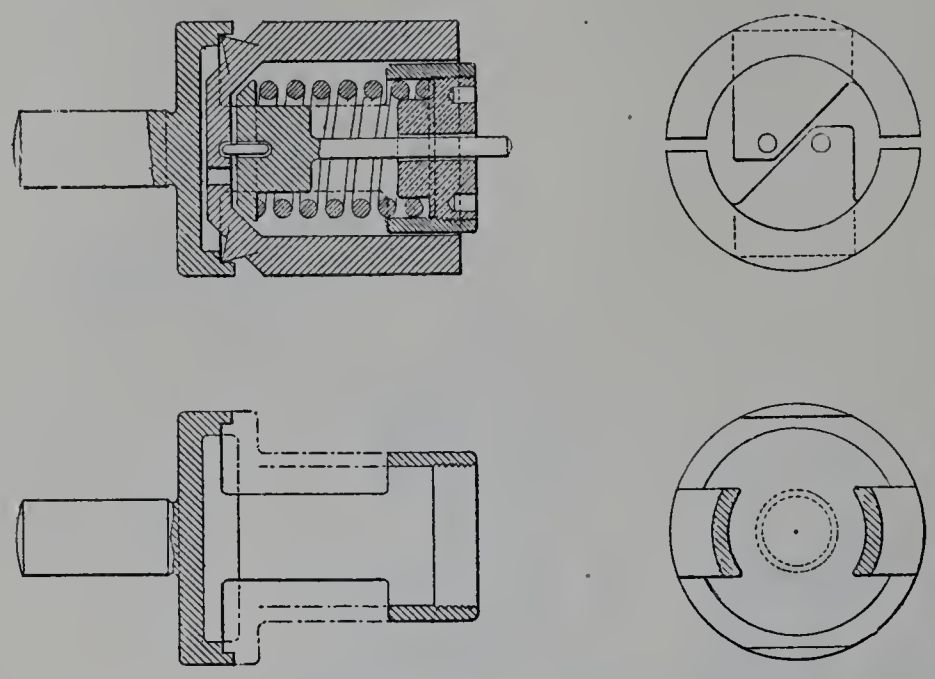


Fig. 626. — Régulateur à force centrifuge, monté sur l'extrémité de l'arbre à vitesse réduite.

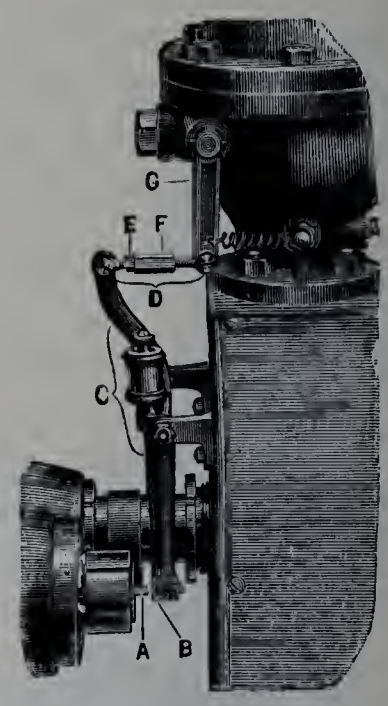


Fig. 627. — Commande de la soupape d'admission par le régulateur.

Pour écarter le danger d'un emballement accidentel de la turbine, on ajoute un dispositif de sécurité qui, en cas de vitesse exagérée, ouvrirait une soupape de rentrée d'air dans la boîte et *casserait* ainsi le vide du condenseur.

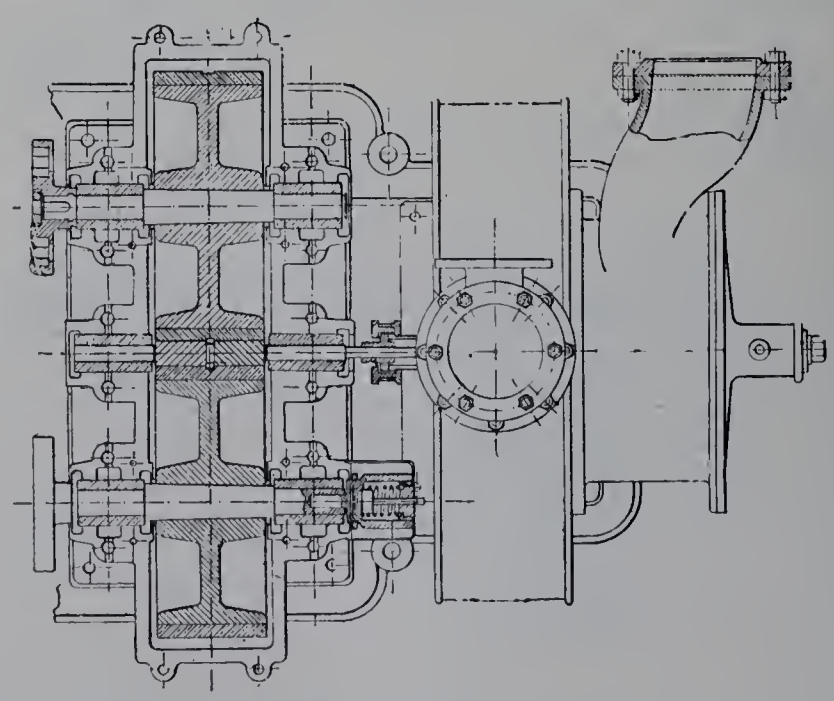


Fig. 628. — Turbine à deux arbres moteurs, de la Société de Laval, de Paris. — Plan.

Dans les appareils de puissance importante, le pignon commande deux roues dentées, disposées de part et d'autre, ce qui assure aux réactions supportées par l'arbre à grande vitesse une parfaite symétrie. C'est sur ce plan, dont les figures 628 et 629 permettent de se rendre compte, que sont établies les deux turbines-dynamos de 300 chevaux

exposées par la Société de Laval, de Paris. Ces turbines-dynamos font partie des groupes électrogènes en service dans la Section française. L'une d'elles est visible au premier plan de la fig. 445 (page 438). Dans ce type, la boîte porte huit ajutages, dont quatre pour le fonctionnement normal à condensation, deux profilés en vue d'un

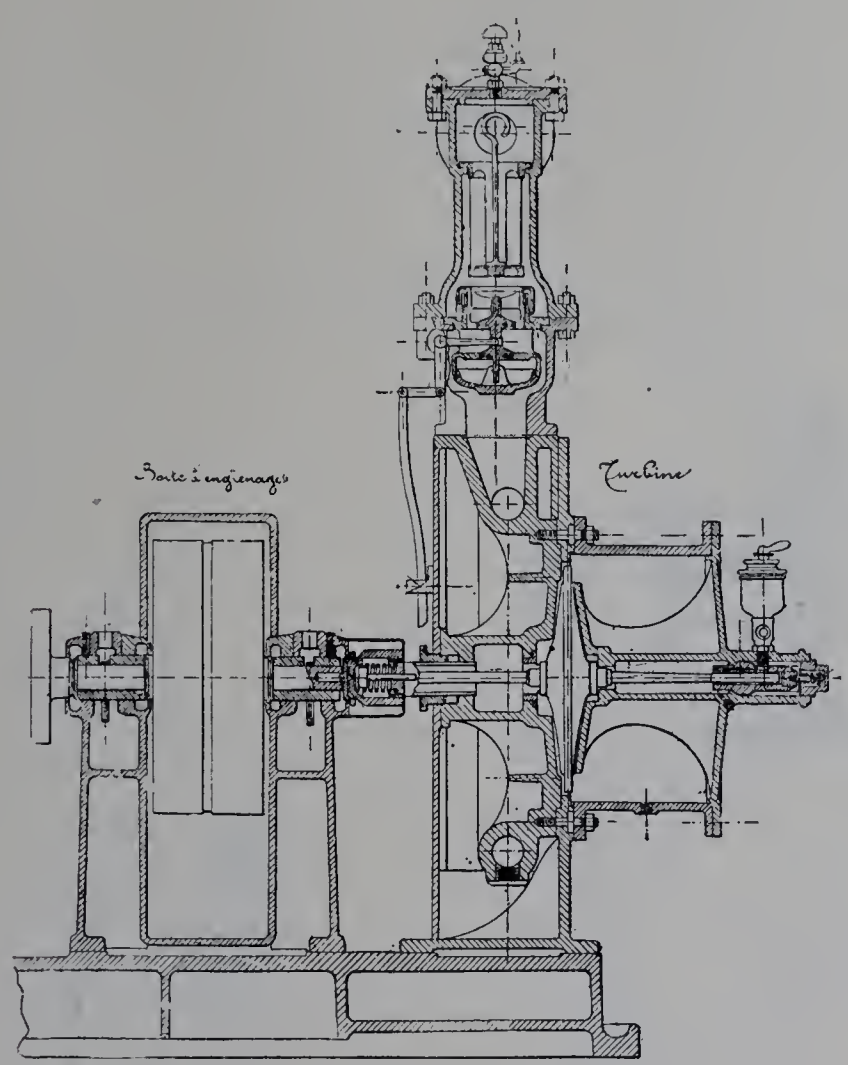


Fig. 629. — Coupe longitudinale.

fonctionnement éventuel à échappement libre, enfin deux autres munis de fermetures à ressort et n'entrant en jeu que si la pression de la vapeur, qui est normalement de 10 kilogrammes par centimètre carré, vient à s'abaisser au-dessous de 7 kilogrammes. La turbine tourne à 9,000 tours; l'engrenage transforme cette vitesse en celle de 780 tours par minute et les deux arbres moteurs à 780 tours actionnent chacun, par l'intermédiaire d'un accouplement Raffard, une dynamo Bréguet de 100 kilowatts.

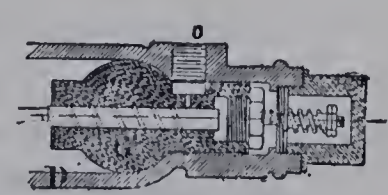


Fig. 630. — Détail du coussinet à rotule.

La Société des turbines de Laval, de Stockholm, expose une turbine-pompe à grand débit, une turbine-dynamo, une turbine-ventilateur, établies d'après les principes les plus récents de sa construction. Elle présente aussi, afin de faire apprécier les qualités robustes du système, l'une des premières machines qu'elle ait vendues : c'est une turbine-dynamo de 9,900 watts, livrée le 20 février 1893 au Service des eaux de Gothembourg; cet appareil a fonctionné jusqu'en février 1900 sans

aucune réparation ni remplacement d'organe; l'arbre de la turbine a effectué durant ces sept années, à raison de 24,000 tours par minute de service, environ 20 milliards de tours.

Turbine compound Seger. — Puisque, dans la construction d'une turbine du genre de Laval, on ne parvient pas à annuler la vitesse du fluide à la sortie, il est séduisant de chercher à tirer parti de l'énergie cinétique que ce fluide conserve encore en le recueillant sur les aubes d'une seconde turbine, tournant à moindre vitesse que la première et en sens inverse, mais, par ailleurs, fonctionnant d'après les mêmes principes et dans la même boîte à pression uniforme. Tel est le principe du système Seger, exposé par MM. C.-F. Ekermann et A. Liedbeck, de Stockholm (fig. 631 à 633).

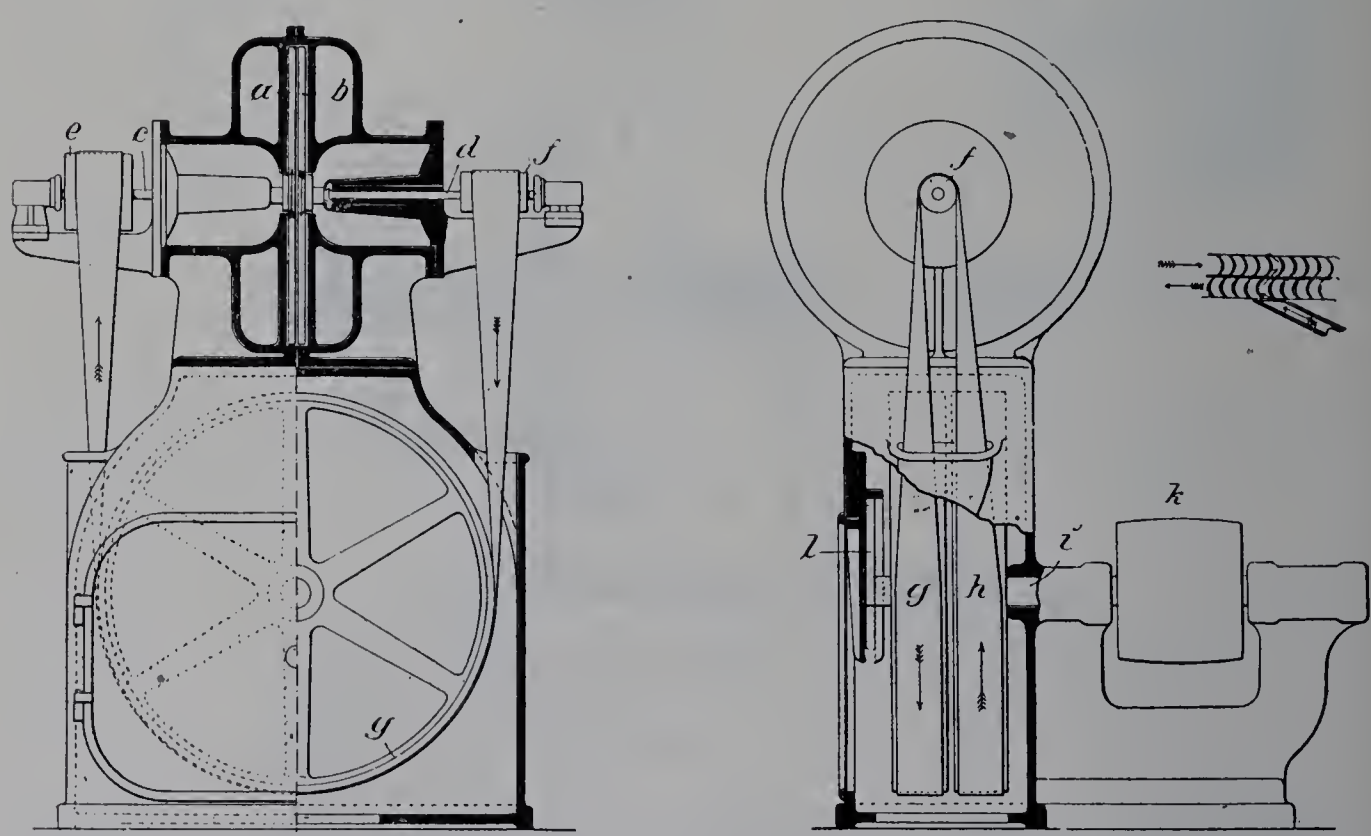


Fig. 631. — Turbine compound Seger. — Coupes.

Les deux turbines *a* et *b* sont montées sur deux arbres indépendants *c* et *d*, placés dans le prolongement l'un de l'autre; un simple diaphragme percé d'orifices est interposé entre elles. Les deux moitiés de boîte dans lesquelles elles sont respectivement comprises, et qui sont normalement appliquées l'une contre l'autre, peuvent se séparer à la faveur d'une articulation sur charnière, ce qui permet d'inspecter facilement l'intérieur de l'appareil et de remplacer au besoin les turbines.

Une difficulté cinématique évidente du système est de recueillir, sur un même arbre, les travaux engendrés sur deux organes tournant à des vitesses différentes. La solution a été demandée à l'emploi d'une courroie de transmission comme organe de réduction de vitesse. Les deux turbines font tourner respectivement deux petites poulies *e* et *f*, dont les diamètres sont en raison inverse de leurs vitesses de rotation. L'arbre *i* sur

lequel le travail est finalement recueilli au moyen de la poulie *k* est placé au-dessous des deux autres et leur est perpendiculaire ; il porte, claveté sur lui, une grande poulie réceptrice *h*. Enfin, à côté de celle-ci, est disposée une deuxième grande poulie *g* qui tourne folle et dont l'axe est susceptible d'être légèrement élevé ou abaissé à volonté. Sur les quatre poulies *e*, *f*, *g*, *h* passe une même courroie, orientée de manière que les deux petites poulies tournent en sens inverse l'une de l'autre; il en est de même des deux grandes. Le réglage de la poulie folle permet de donner à la courroie la tension voulue; elle donne aussi la faculté de débrayer et d'embrayer progressivement.

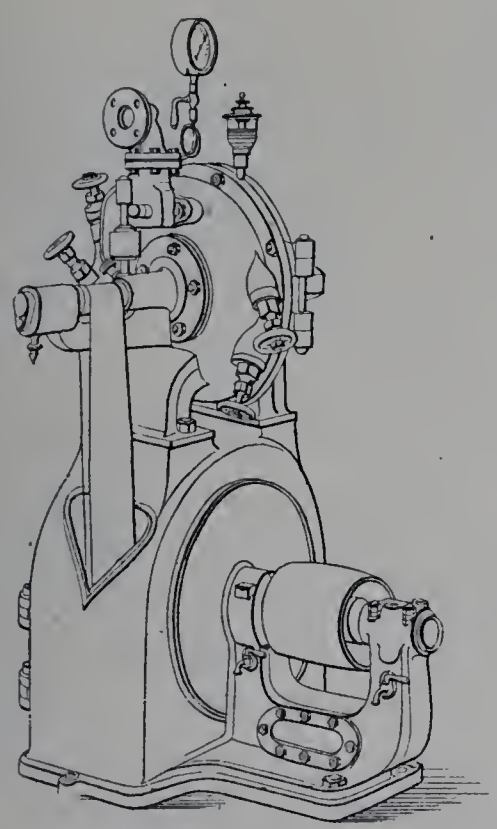


Fig. 632. — Vue du côté de la poulie motrice.

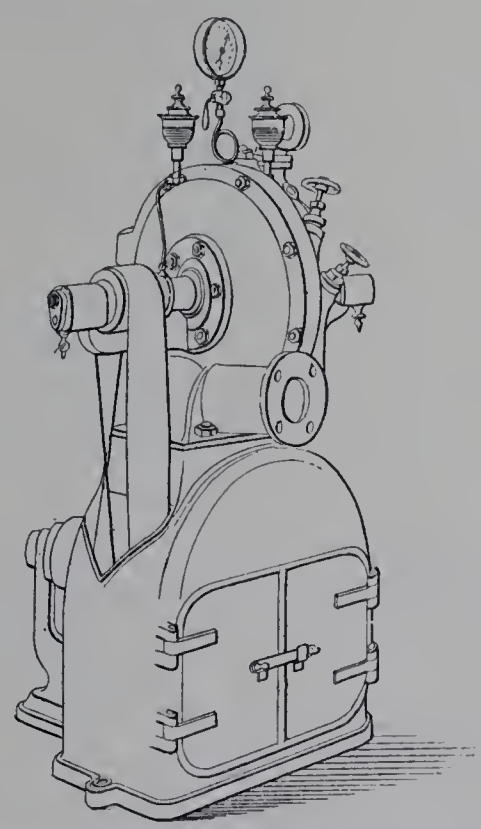


Fig. 633. — Vue du côté de l'évacuation de vapeur.

Le moteur que MM. Ekermann et Liedbeck exposent en fonctionnement a une puissance de 12 chevaux. La pression d'admission est de 8 kilogrammes par centimètre carré. Le rapport des diamètres des deux petites poulies est 1.66, et les vitesses de rotation des deux turbines sont respectivement, en nombres ronds, 7,000 et 4,200 tours par minute.

Il existe un modèle de 60 chevaux, où les diamètres des petites poulies sont dans le rapports de 2 à 1 et dont les disques tournent à 8,400 et 4,200 tours, pendant que l'arbre inférieur, sur lequel est recueilli le travail, tourne à 700 tours par minute.

CHAPITRE VI.

CONDENSEURS.

Conditions générales d'installation. — Aux termes du règlement de l'Exposition, toutes les machines en activité au Champ de Mars sont obligées de fonctionner à condensation. L'eau nécessaire est fournie gratuitement aux exposants. L'Administration a établi, pour ce service, une distribution souterraine d'eau à basse pression, susceptible de fournir 1,200 litres par seconde. C'est le bassin inférieur de la grande cascade, en avant du palais de l'Électricité, qui en est le point de départ. Ce bassin constitue un réservoir de 1,400 mètres cubes, dont le niveau est à peu près à hauteur du sol du Champ de Mars. A l'état statique, la pression dans les conduites est donnée par ce plan d'eau; en cours de fonctionnement, le niveau piézométrique dans les conduites s'abaisse plus ou moins selon le débit; pour le débit maximum, il peut descendre à 2 mètres au-dessous du niveau du sol. L'eau, en général, n'arrive donc pas en charge dans les condenseurs, bien que la presque totalité de ceux-ci soient en contre-bas des machines. Dans la plupart des cas, chaque machine exposée en fonctionnement possède son condenseur, dont elle actionne directement la pompe à air par un renvoi de mouvement. Quelques puissants moteurs à multiple expansion, où le cylindre de basse pression est dédoublé en deux cylindres parallèles, ont deux condenseurs, un de chaque côté : cette disposition a été adoptée par MM. Dujardin et Cie, par la Société des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. Dans la machine verticale de M. Ringhoffer, bien que le cylindre de basse pression soit unique, on trouve aussi deux condenseurs, auxquels la vapeur arrive par une conduite bifurquée à branches symétriques, de manière que la vapeur ait le même chemin à parcourir pour se rendre à l'un ou à l'autre; la symétrie est complétée par une communication inférieure établie, au moyen d'un tuyau spécial, entre les chambres à eau des deux appareils.

Quelques exposants ont établi des condensations centrales ou du moins à commande indépendante : tels sont les Établissements Weyher et Richemond, la Compagnie française de constructions mécaniques, MM. Delaunay-Belleville et Cie.

Ainsi qu'il est naturel à raison des conditions générales des installations, de la nature de l'eau (eau de Seine) et des systèmes auxquels appartiennent les générateurs de vapeur et la plupart des récepteurs, la condensation est opérée presque exclusivement au moyen de condenseurs par mélange. Nous aurons cependant à signaler quelques appareils de condensation par surface.

I

CONDENSEURS PAR MÉLANGE.

Dispositions d'ensemble. — L'afflux de l'eau réfrigérante se fait soit en pluie, au travers d'une crépine allongée horizontale (fig. 634) ou verticale (fig. 635), soit en nappe, comme par exemple dans le condenseur de MM. Dujardin et Cie (fig. 636). On

voit, sur la coupe de ce dernier appareil, des reniflards à flotteur destinés à casser le vide au cas où l'eau s'élèverait accidentellement et tendrait à noyer le condenseur.

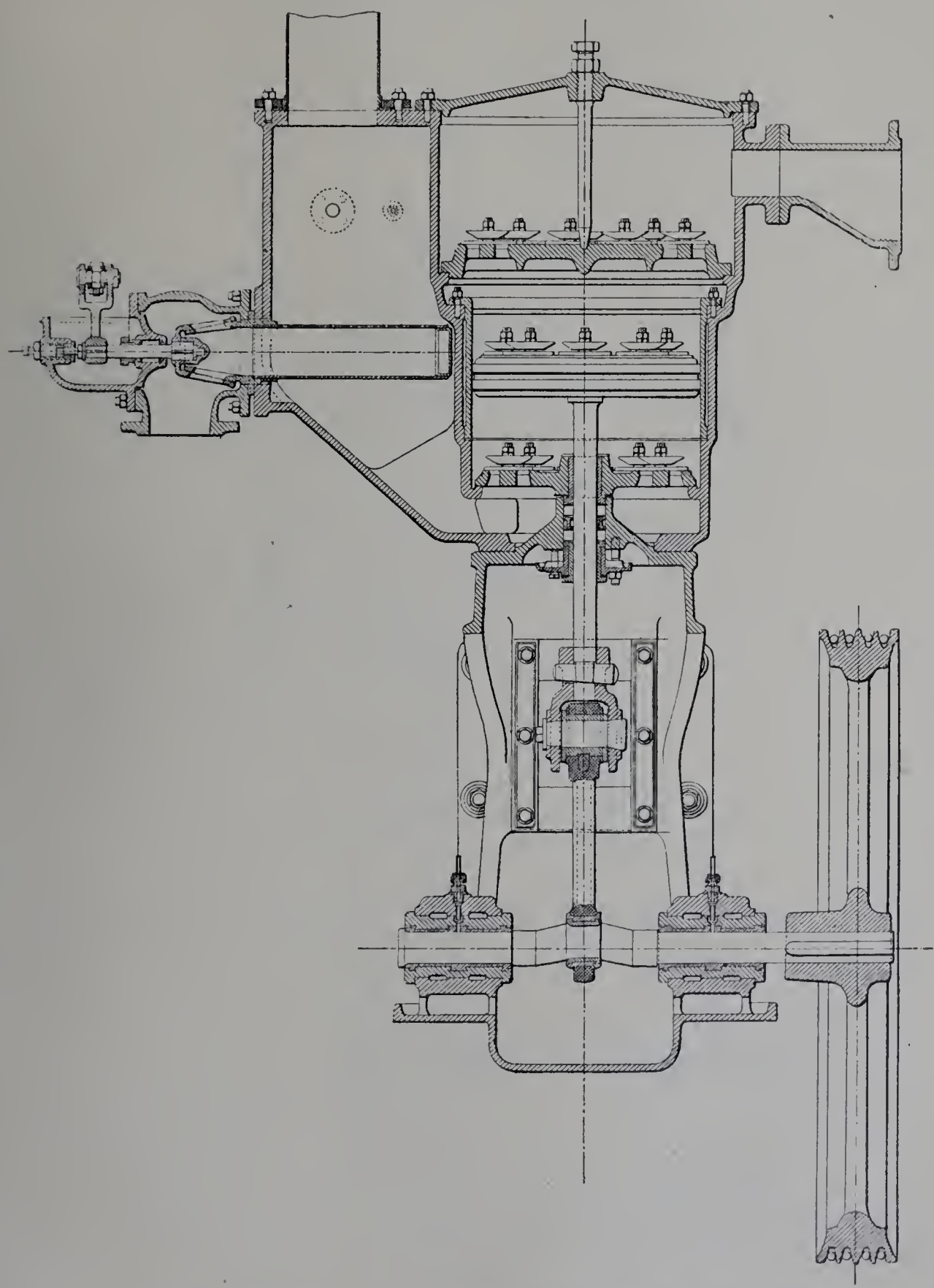


Fig. 634. — Condenseur de la machine à tiroirs rotatifs de MM. Sulzer frères.

L'extraction de l'eau et celle de l'air sont opérées par une même pompe à la base du condenseur : le système de condensation « méthodique », dans lequel, après avoir fait cheminer en sens inverse l'eau réfrigérante et la vapeur à condenser, on enlève l'air par

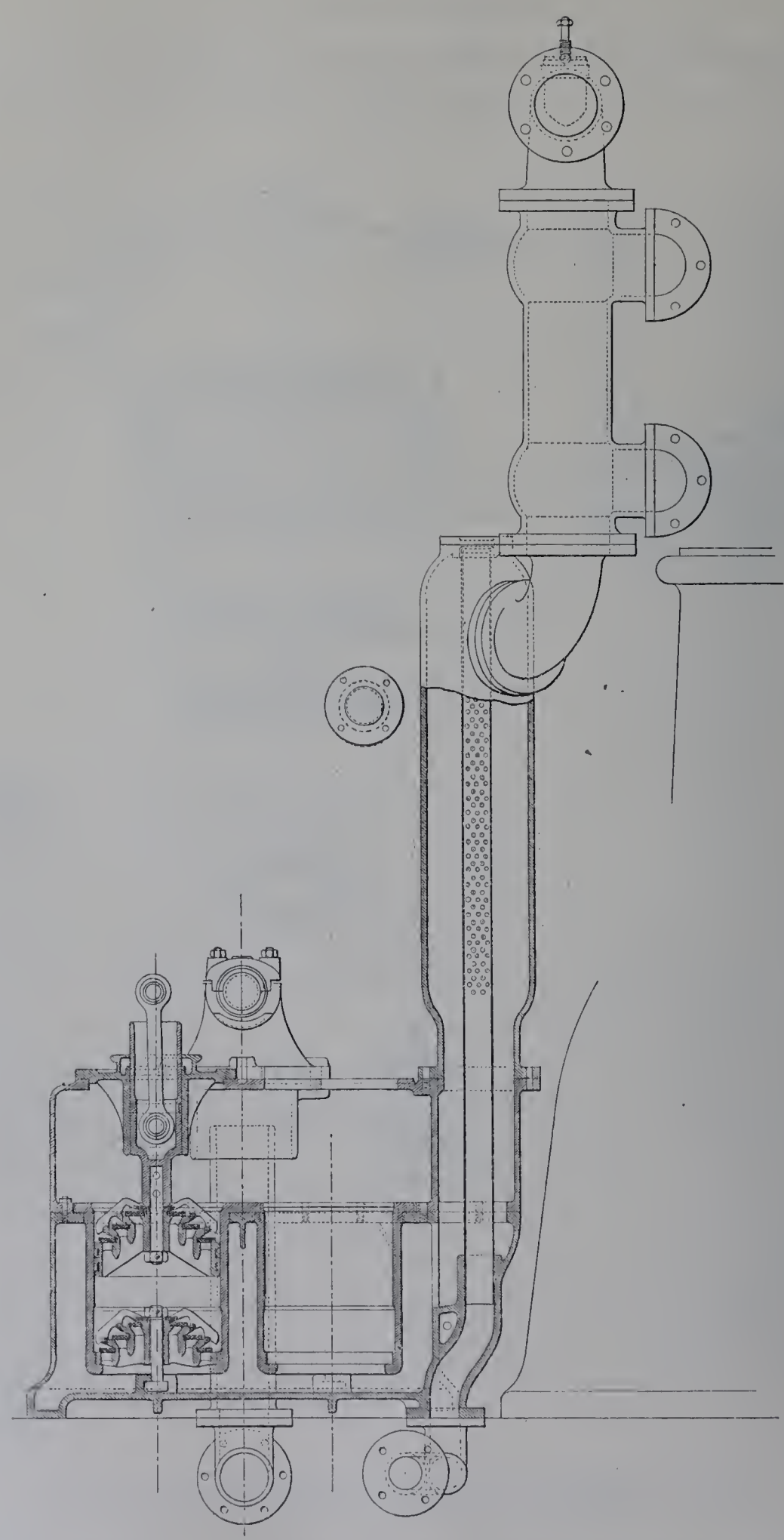


Fig. 635. — Condenseur de la machine verticale de 180 chevaux à 150 tours par minute, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

une pompe à vide placée au sommet du condenseur, tandis qu'on assure à la base l'élimination de l'eau, n'est pas représenté à la Classe 19.

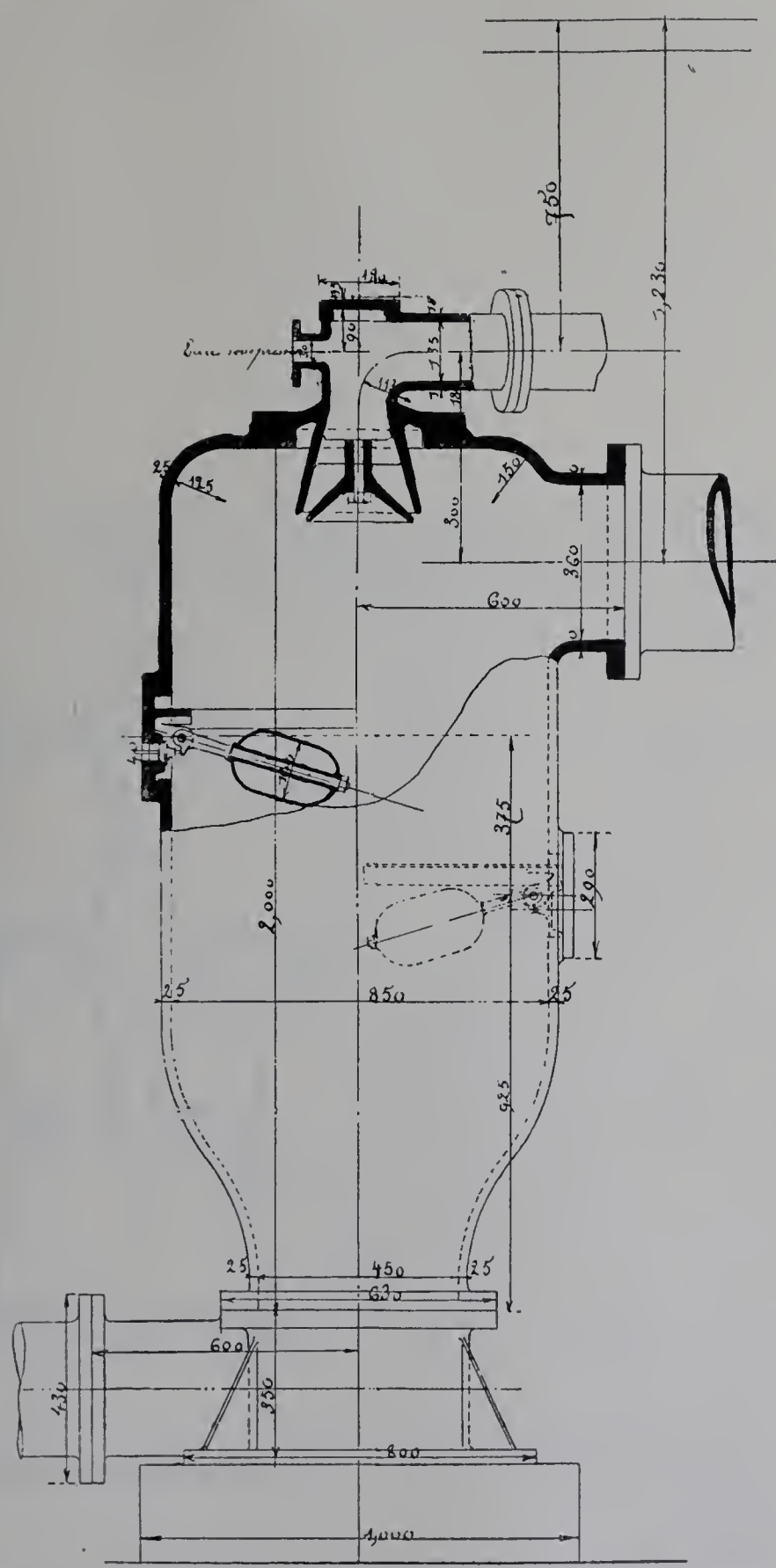


Fig. 636. — Condenseur de la machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie.

Pompes à air. — La pompe à air, chargée d'extraire à la fois l'air et l'eau, est le plus souvent disposée de manière que son piston livre passage aux fluides, au travers d'orifices dont il est percé et qui sont garnis de clapets. Le corps de pompe est vertical, les

IMPRIMERIE NATIONALE.

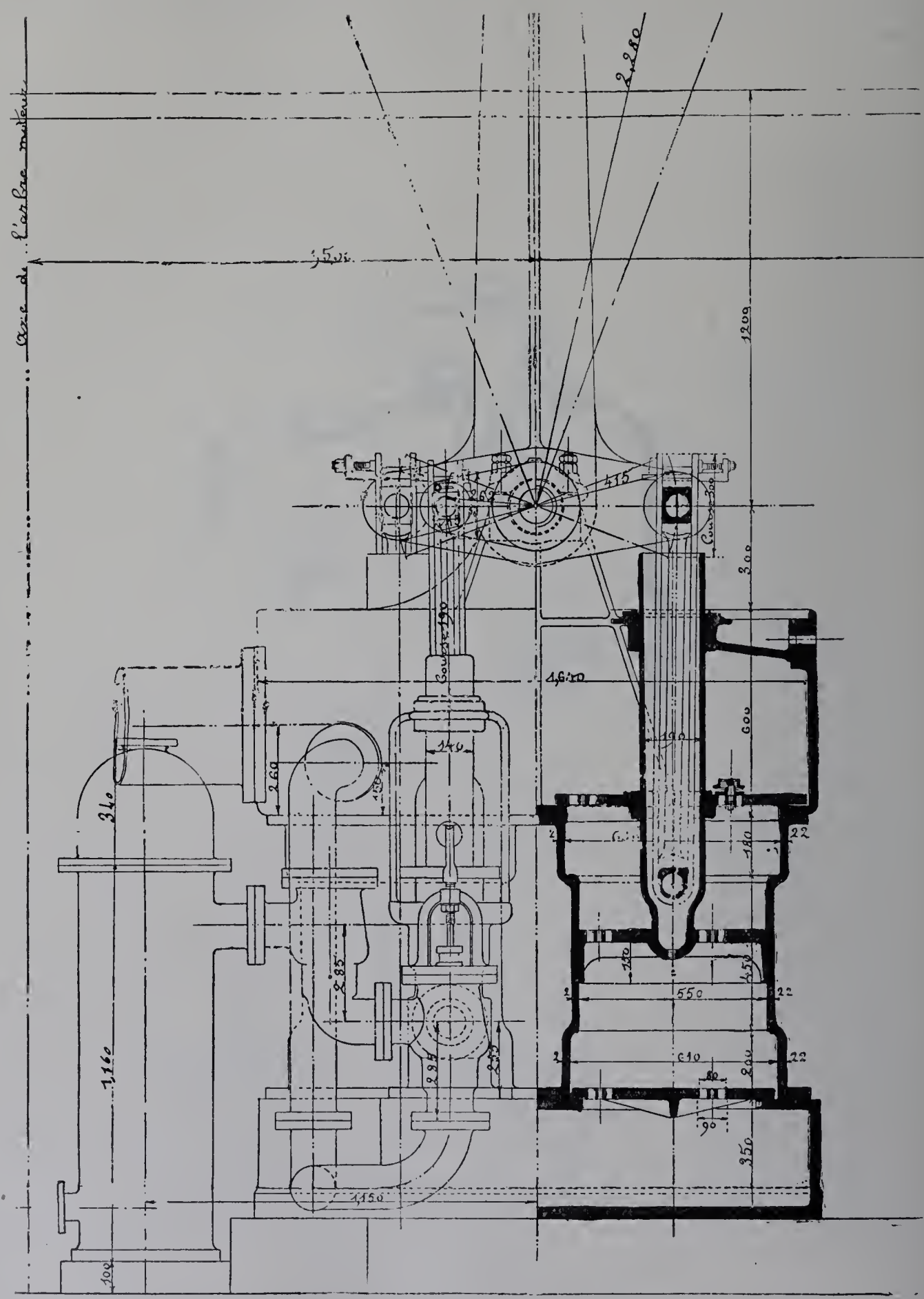


Fig. 637. — Pompe à air de la machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie. — A droite, coupe de l'un des deux corps de pompe; à gauche, élévation de l'autre corps de pompe, en avant duquel se projette la pompe alimentaire.

clapets s'ouvrent de bas en haut; il peut suffire, pour compléter le système, d'un second système de clapets s'ouvrant de même et interposé à la base du corps de pompe : c'est le cas du condenseur représenté par la fig. 635. La pompe est placée tout au bas de la chambre à eau du condenseur, de manière que le poids du liquide concoure, pour faire monter l'eau sous le piston, avec la différence de pression créée par l'aspiration : cette différence, quand le vide est bon dans le condenseur, ne saurait être bien grande. Aussi convient-il, pour que l'eau suive bien le piston dans son mouvement ascensionnel, que celui-ci ne comporte pas d'accélérations trop vives. Le nombre des coups par unité de temps étant généralement imposé par la vitesse de la machine, on est conduit à donner aux pompes à air de cette classe une faible course et, conséquemment, une large section.

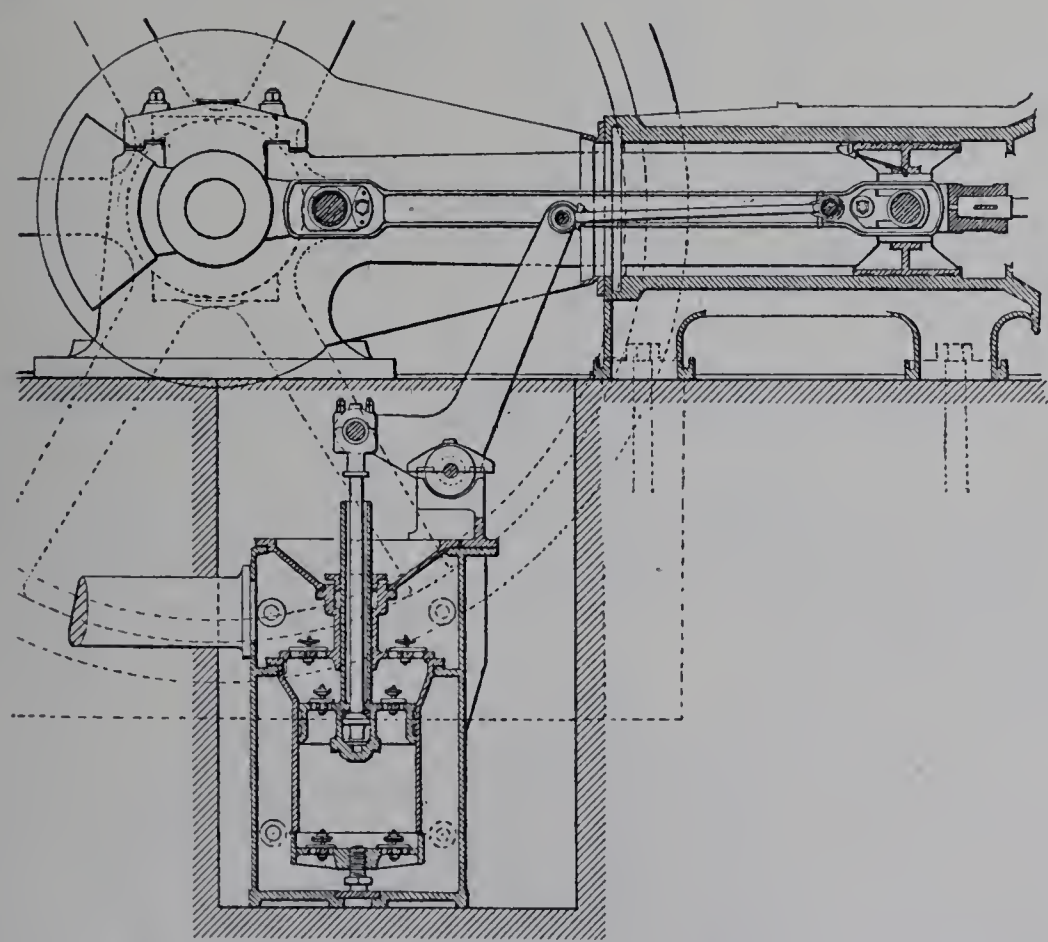


Fig. 638. — Pompe à air de la machine horizontale de la Société alsacienne.

Il est assez usuel de munir le corps de pompe, non seulement des clapets d'aspiration placés à sa base, ou clapets de pied, mais aussi d'un second système de clapets interposés à son sommet. Le piston aspire par les premiers et refoule par les seconds, pendant sa course ascendante; quand il redescend, il livre passage aux fluides à travers ses propres clapets. C'est ainsi que sont appareillés les condenseurs de MM. Sulzer (fig. 634), de M. Dujardin (fig. 637), de la Société alsacienne de constructions mécaniques (fig. 638), de MM. Lederer et Porgès (fig. 541), etc.

Dans la pompe à air de M. Lang (fig. 383), le principe est analogue, mais les clapets de pied sont reportés latéralement.

Lorsqu'il n'y a pas de clapets de refoulement au sommet du corps de pompe, la

pression sur la face supérieure du piston demeure constamment égale à la pression atmosphérique et, abstraction faite des effets d'inertie, c'est jusqu'à cette pression (ou même un peu plus) que le piston doit comprimer les fluides emprisonnés au-dessous de lui, pour les transvaser ensuite à travers ses propres clapets. Avec des clapets de refoulement au sommet du corps de pompe, si le piston, en s'élevant, expulsait de la chambre supérieure de ce corps la totalité de l'air qu'il contient, le mouvement descendant qui vient ensuite y ferait un vide égal ou même, plus exactement, un peu

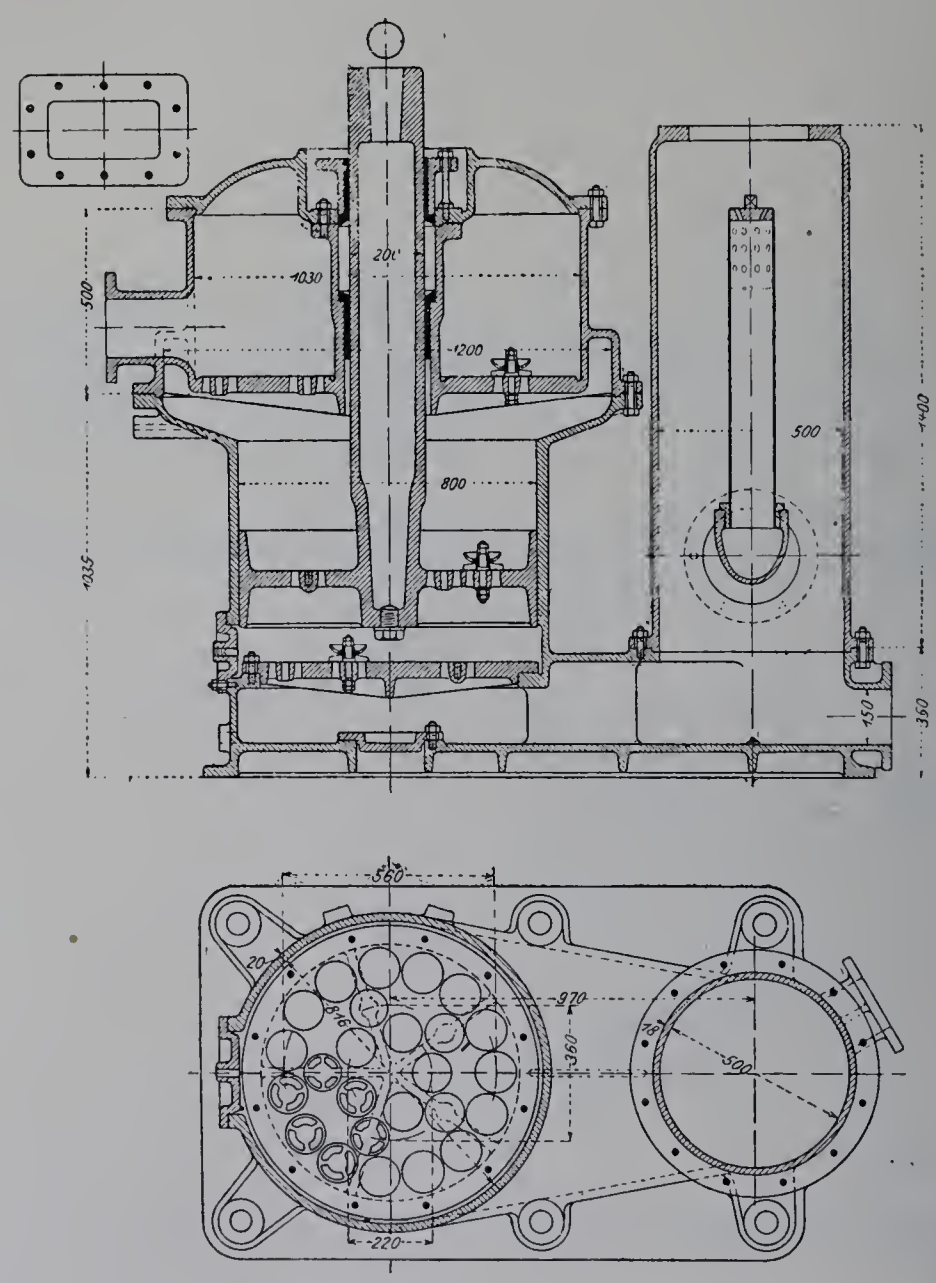


Fig. 639. — Plan et coupe de l'un des deux condenseurs de la machine Ringhoffer.

supérieur à celui du condenseur et la communication entre les deux faces du piston pourrait s'établir presque dès le début de la course. En réalité, il est intéressant d'établir un mode de fonctionnement moyen entre ces deux cas extrêmes, de manière à partager à peu près par moitié, entre les deux chambres du corps de pompe, la variation totale de la pression des fluides. Dans les pompes à air, système Doerfel, de la machine Ringhoffer (fig. 639), la chambre supérieure du corps de pompe est disposée de manière à conserver en permanence, à son sommet, un matelas d'air; celui-ci, alter-

nativement comprimé et détendu, réduit à environ une demi-atmosphère l'amplitude des variations de pression dans cette chambre. Le fonctionnement de l'appareil se trouve de la sorte adouci. Le piston est d'ailleurs à large surface et à vitesse modérée : 80 centimètres de diamètre et seulement 25 centimètres de course, pour une fréquence de 95 coups par minute.

Les pompes à air du condenseur Borsig présentent un arrangement analogue, combiné avec la suppression des clapets de pied (fig. 640). Le piston, à grande surface (1 m. 10 de diamètre) et à très petite course, démasque, en s'élevant, des orifices percés au pourtour du corps de pompe, et par lesquels l'eau et l'air pénètrent librement; le mouvement descendant supprime ces communications et emprisonne les fluides sous le piston, qui les comprime jusqu'à ce que leur pression excède légèrement celle de la chambre supérieure; cette dernière pression se trouve d'ailleurs réduite par la descente du piston dans la mesure que comporte l'importance du matelas d'air. Celui-ci est logé, comme le dessin le montre, dans une cloche de forme évasée, au-dessus de la partie centrale de la plaque à clapets du haut.

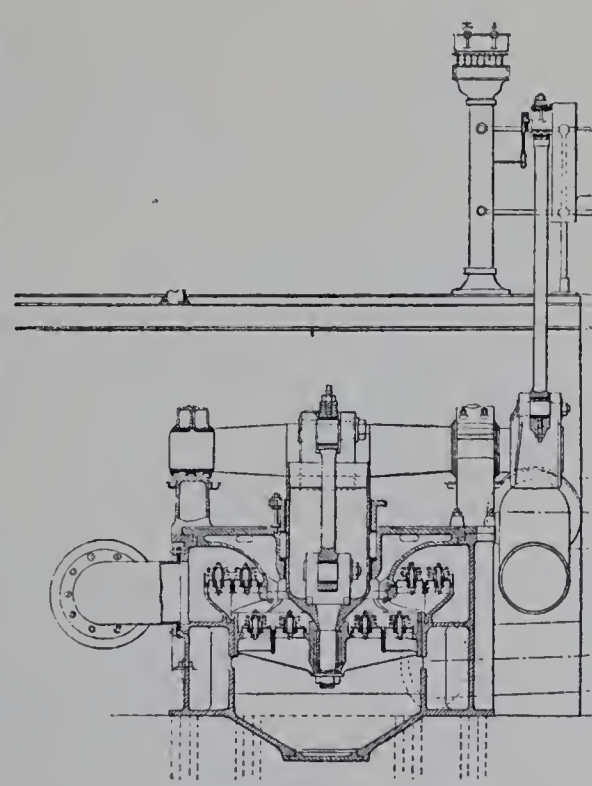


Fig. 640. — Pompe à air de la machine Borsig.

Les pompes à air de M. Tosi (fig. 482 et 484) n'ont qu'un seul jeu de clapets. Ce sont les clapets de refoulement placés au sommet du corps de pompe. Les clapets d'aspiration sont remplacés par des lumières alternativement masquées et démasquées par le va-et-vient du piston. Celui-ci est plein, et en forme de chapeau chinois renversé; lorsqu'il s'abaisse, il commence par faire le vide au-dessus de lui, puis il démasque une couronne de lumières percées au pourtour du corps de pompe: c'est alors que l'eau et l'air à extraire y pénètrent. Quand le piston se relève, il emprisonne ces fluides, puis les comprime et les expulse.

Dans les divers systèmes dont nous venons de parler, le piston de pompe à air est essentiellement à simple effet. Mais on réalise assez généralement le double effet en associant deux pompes semblables dont les pistons jouent en sens opposé. Presque toujours les deux pompes sont juxtaposées et les pistons menés par des bielles attelées aux deux bras d'un même balancier. Quelquefois cependant, les deux pompes à air sont actionnées par des commandes distinctes : c'est ainsi que la machine verticale à triple expansion de la Société d'Augsbourg et Nuremberg est munie d'un condenseur dont les deux pompes à air à simple effet, mesurant chacune 77 centimètres de diamètre et 25 centimètres de course, sont actionnées par des balanciers articulés respectivement sur les crosses des cylindres de moyenne et de basse pression.

Dans d'autres systèmes, la pompe à air est à piston plein et le corps de pompe porte deux jeux de clapets, s'ouvrant les uns vers l'intérieur pour l'aspiration, les autres vers l'extérieur pour le refoulement. Le piston peut être en forme de disque ou en forme de plongeur, à simple ou à double effet. Il n'y a pas d'inconvénient à le faire marcher vite, pourvu que le volume qu'il engendre corresponde à des vitesses convenables de déplacement des fluides. On est donc libre de fixer le rapport des deux facteurs de ce volume, section et course, selon les convenances de la construction.

C'est ainsi, par exemple, que la machine Carels est munie (fig. 351) d'un condenseur horizontal dont la pompe à air est à piston-disque, à double effet, de 50 centimètres de diamètre et 45 de course. Cette disposition est assez usitée. Dans l'installation de MM. Bromley frères, on la trouve avec une particularité que la figure 492 fait voir : le piston, de 33 centimètres de diamètre et 30 de course, a sa tige en forme de fourreau creux, de manière à loger à son intérieur la bielle attelée au balancier de commande.

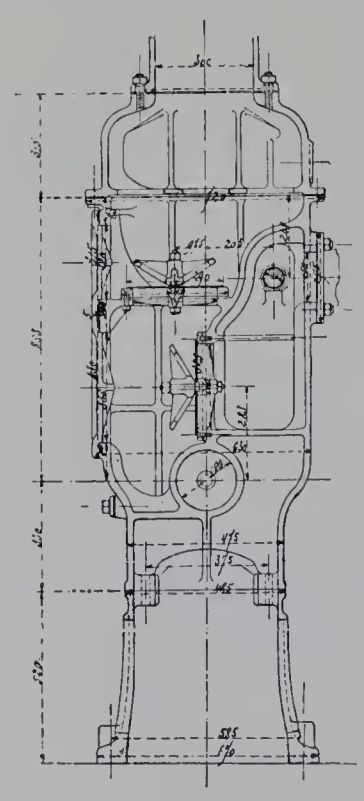


Fig. 641. — Coupe transversale du condenseur de la machine horizontale Chaligny (la coupe longitudinale a été donnée fig. 441).

C'est encore un piston à garniture, assimilable à un piston-disque, que l'on voit dans le condenseur de la machine horizontale compound de MM. Chaligny et Cie (fig. 441 et 641) : mais il est, beaucoup plus franchement que les précédents, à petite section et à grande course : son diamètre n'est que 18 centimètres et la longueur de son excursion est la même que celle des pistons à vapeur de la machine, soit 50 centimètres.

Certains constructeurs préfèrent les pistons plongeurs, à simple ou à double effet. On les fait creux, avec une épaisseur calculée de manière que leur densité moyenne soit égale à celle de l'eau : ils ne tendent donc pas à ovaliser le presse-étoupe. C'est ainsi que sont appareillés les condenseurs horizontaux de MM. Garnier et Faure-Beaulieu (fig. 642 et 643).

Il eût été surprenant que le condenseur de la machine avec distribution *à ciseaux,* de M. Claude Bonjour, ne se distinguât pas par quelque combinaison cinématique ingénieuse. Le piston de sa pompe à air (fig. 341) est à la fois disque et plongeur: c'est un piston différentiel, dont la partie inférieure, formant plongeur creux, a une section vide égale à la moitié de la surface supérieure utile du disque. La pompe n'a que deux clapets en tout, l'un porté par le piston, l'autre disposé à la partie supérieure du cylindre dans lequel se meut celui-ci; et cependant elle est à double effet, tant à l'aspiration qu'au refoulement. Lorsque le piston monte, son clapet étant fermé, le plongeur aspire un certain volume que nous désignerons par V; le disque refoule, au travers du clapet du cylindre, un volume 2V; mais comme en même temps l'intervalle compris, au-dessous du disque, entre le plongeur et le cylindre (intervalle qui est en communication avec le refoulement) augmente de V, le

refoulement hors de l'appareil n'a lieu qu'au prorata d'un volume V. Quand le piston redescend, son clapet s'ouvre, tandis que celui du cylindre se ferme. L'intervalle compris, au-dessous du disque, entre le plongeur et le cylindre diminue de V, d'où un refoulement V. L'espace offert aux fluides venant du condenseur, à l'intérieur du plon-

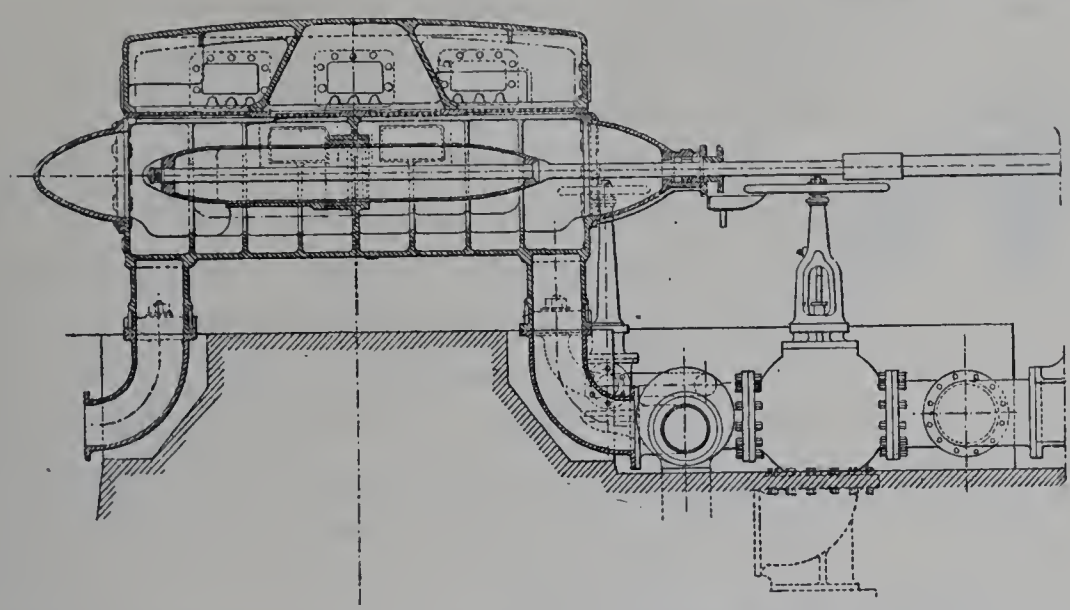


Fig. 642. — Condenseur à piston plongeur à double effet, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

geur creux et du cylindre en communication avec lui, diminue de V en ce qui concerne le plongeur creux, mais augmente de 2V en ce qui concerne le cylindre : le résultat est une aspiration V.

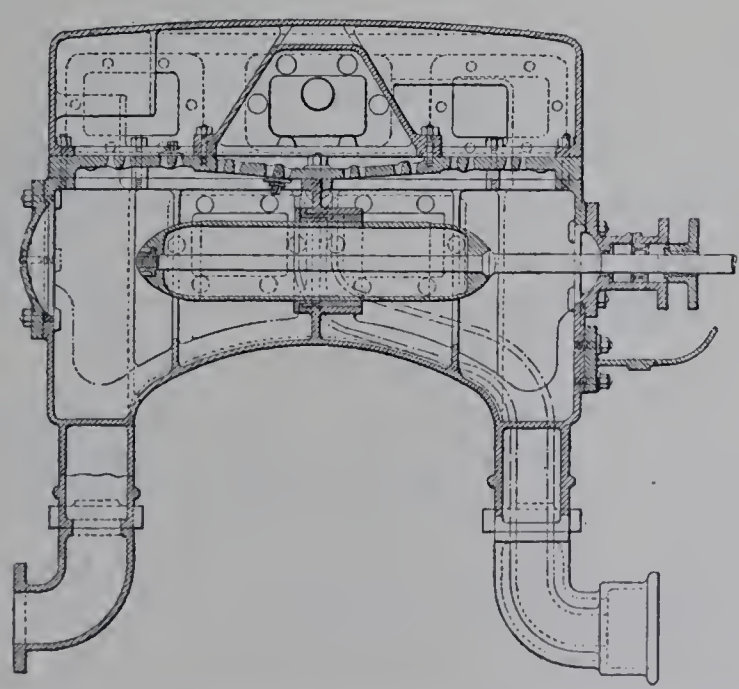


Fig. 643. — Autre modèle pour machine de moindre puissance.

Quelles que soient les dispositions des pompes à air, le mode de construction des clapets a naturellement une grande influence sur le bon fonctionnement et la valeur pratique de ces appareils. D'éminents constructeurs s'en tiennent au système ancien et classique des disques de caoutchouc, encastrés en leur centre, dont la levée est limitée par une pièce fixe en forme de calotte sphérique, percée de trous pour qu'ils

n'y adhèrent pas. La figure 644 montre le type des clapets de petit diamètre employés par MM. Garnier et Faure-Beaulieu. On trouve également des clapets de caoutchouc dans les condenseurs de M. Borsig, de M. Ringhoffer (qualité *dermatine*), etc. D'autres constructeurs, reprochant au caoutchouc de s'altérer par la chaleur et par l'action des matières grasses, préfèrent les clapets métalliques, Corliss ou autres : ce sont en général de petites soupapes plates et légères, que des ressorts à boudin tendent à appliquer sur leur siège.

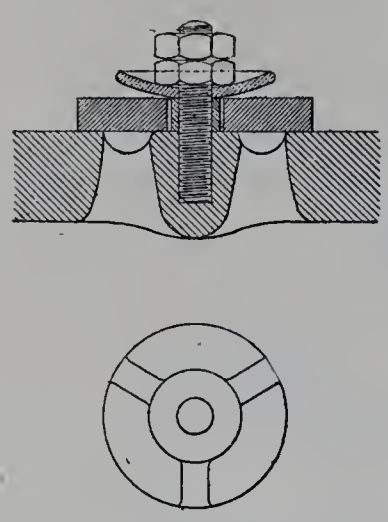


Fig. 644. — Clapet de pompe à air (Garnier et Faure-Beaulieu).

Pour toutes les pompes à air solidaires de la machine qu'elles desservent et placées en contre-bas de celle-ci, la course est fort réduite par rapport à celle des pistons à vapeur. La transmission de mouvement est généralement prise, soit sur le bouton de manivelle, soit sur la crosse, soit sur la contre-tige du piston, et la réduction est obtenue à l'aide d'un balancier à bras inégaux. Dans la machine Borsig, le mouvement des pompes à air est pris sur un bouton de manivelle piqué en bout d'arbre.

Quelques constructeurs de machines horizontales installent autrement le condenseur : ils le placent non en contre-bas, mais au niveau même de la machine, derrière celle-ci; ils attellent directement l'un à l'autre, en tandem, le piston à vapeur et le piston de pompe à air. Ce dernier appartient nécessairement, dans ce cas, à un type susceptible d'une forte vitesse, plongeur ou piston plein à longue course : nous avons vu des exemples de cette disposition dans les installations de M. Chaligny et de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.

La Société des établissements Weyher et Richemond a établi, comme appareil de condensation centrale pour une partie des machines de son exposition, un condenseur horizontal à double effet, disposé de la même manière, en tandem, derrière une machine Corliss monocylindrique de 0 m. 365 de diamètre et 0 m. 80 de course, développant de 100 à 200 chevaux à 110 tours par minute.

On trouve également la commande directe de la pompe à air par un piston à vapeur, mais avec une disposition générale différente, sur les installations de la Compagnie française de constructions mécaniques. Cette compagnie a établi à côté de sa grande machine Allis un condenseur indépendant à pompe verticale ; le condenseur proprement dit est placé souterrainement, ainsi que la pompe à air; le piston de celle-ci, dont le diamètre est 0 m. 914 et la course 0 m. 406, est directement actionné par le piston d'un cylindre à vapeur établi au-dessus du sol. Comme pour la grande machine des mêmes constructeurs, la distribution est donnée à ce cylindre par quatre distributeurs, suivant le système Reynolds.

Éjecto-condenseurs. — Au lieu du condenseur par mélange et de sa pompe à air, on emploie quelquefois un éjecto-condenseur. Suivant le principe de l'appareil de Morton, l'eau réfrigérante pénètre par la tuyère centrale en un jet qui, une fois l'amor-

çage produit, emprunte sa force vive à l'excès de la pression atmosphérique sur la pression intérieure; la vapeur d'échappement est amenée par une, ou plus ordinairement par plusieurs buses concentriques, au contact de ce jet qui la condense et entretient le vide; le mélange liquide jaillit hors de la dernière buse presque sans pression, mais avec une force vive dont le divergent, qui vient ensuite, opère la transformation : la pression se relève progressivement, aux dépens de la vitesse, jusqu'à une valeur légèment supérieure à la pression atmosphérique, de manière à assurer la sortie du flux liquide.

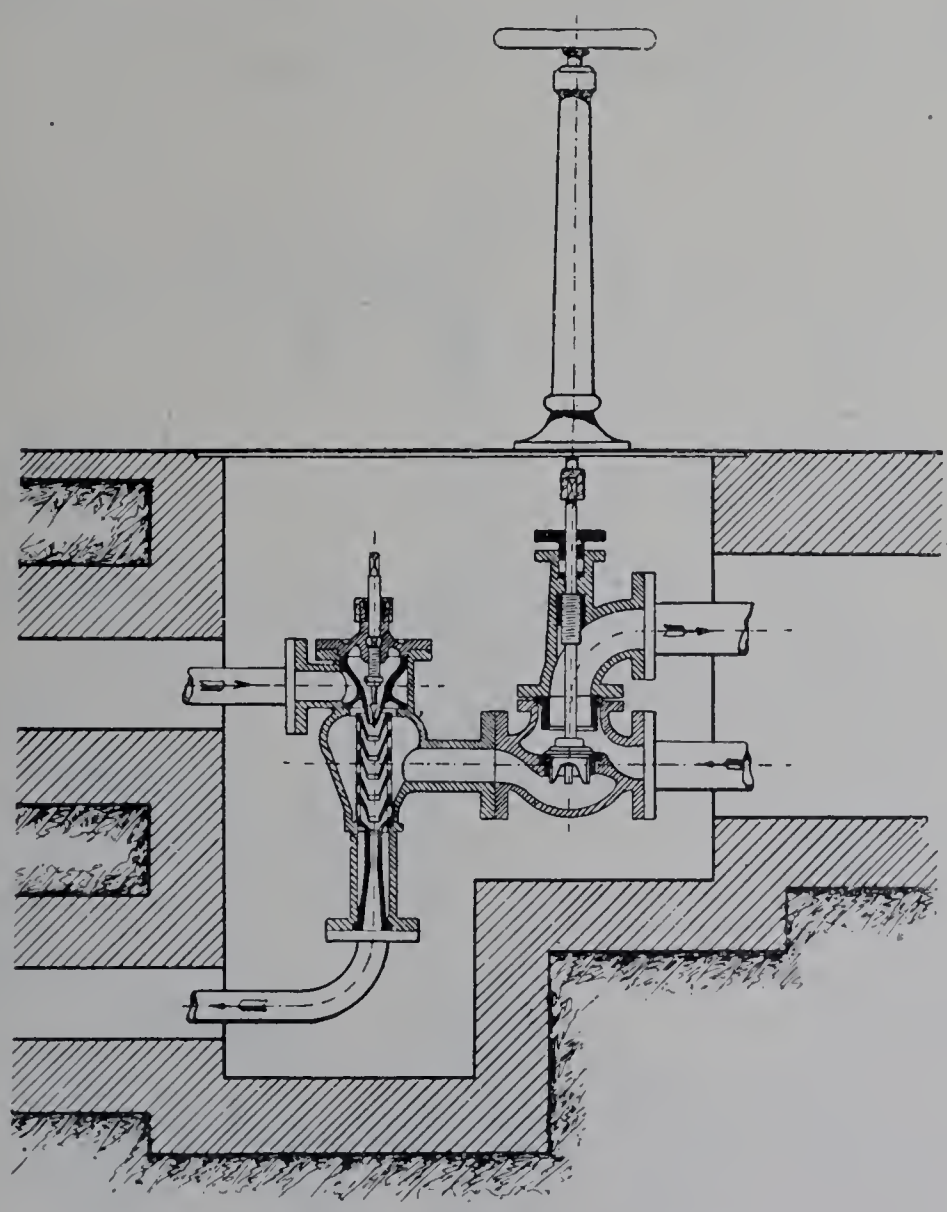


Fig. 645. — Éjecto-condenseur de M. E. Mertz.

La figure 645 donne la coupe d'un éjecteur employé, par M. Émile Mertz, pour condenser la vapeur de sa machine de 180 chevaux. M. Ferdinand Bohler, de Paris, construit des appareils de cette classe.

Les éjecto-condenseurs ne tiennent qu'une place insignifiante et leur fonctionnement ne nécessite aucune transmission de mouvement. Ces qualités, qui leur sont communes avec les injecteurs, rendent la solution fort séduisante; mais elle a, en général, l'inconvénient de dépenser beaucoup d'eau. C'est une condition acceptable dans certains cas.

Dans l'installation de l'éjecto-condenseur (fig. 646) dont il a fait suivre sa machine à quadruple expansion, M. Charles Bourdon s'est attaché à réduire le plus possible cette consommation d'eau. A cet effet, il reprend en V une partie de l'eau chaude qui sort de l'éjecteur B et la renvoie à la tuyère d'injection à l'aide d'une pompe centrifuge C. Il est vrai qu'il faut bien éliminer définitivement hors de l'appareil toute la chaleur apportée par la vapeur et que, si l'on n'actionnait l'éjecteur qu'avec de l'eau ainsi reprise, les températures deviendraient vite excessives et le vide tomberait. Mais on introduit par V′, en mélange avec l'eau qui retourne en tête du système, une certaine proportion d'eau froide; en outre, on favorise la condensation par un autre apport d'eau froide qui est envoyé par V″, sous forme de pluie, dans le tuyau d'arrivée de vapeur.

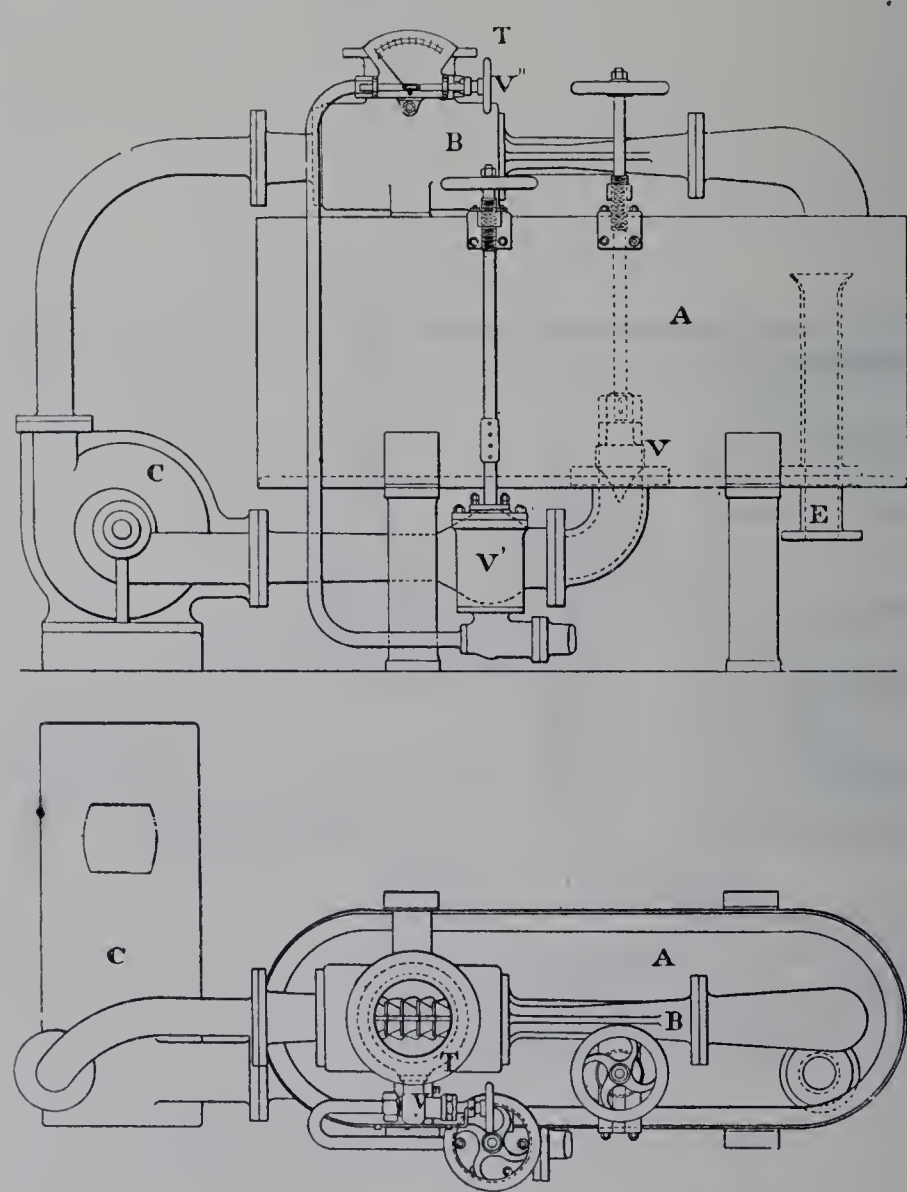


Fig. 646. — Ejecto-condenseur de M. Charles Bourdon.

De la partie supérieure de la bâche A où le mélange liquide se déverse à la sortie de l'éjecteur, un tuyau de trop plein E évacue au dehors une quantité d'eau chaude qui représente la somme de la vapeur condensée et de l'eau froide introduite. En réglant les vannes qui commandent respectivement les arrivées d'eau chaude et d'eau froide à la pompe centrifuge, ainsi que l'introduction auxiliaire d'eau froide dans la

vapeur, on arrive à concilier un vide convenable avec une température assez élevée du liquide qui s'en va par le trop-plein, et par suite avec une consommation d'eau relativement restreinte.

II

CONDENSEURS PAR SURFACE. — APPAREILS DIVERS.

Condenseurs par surface. — C'est évidemment aux Classes 33 (matériel de la navigation de commerce) et 118 (génie maritime) qu'il faudrait rendre visite pour trouver, dans leur élément, les condenseurs par surface où le refroidissement est

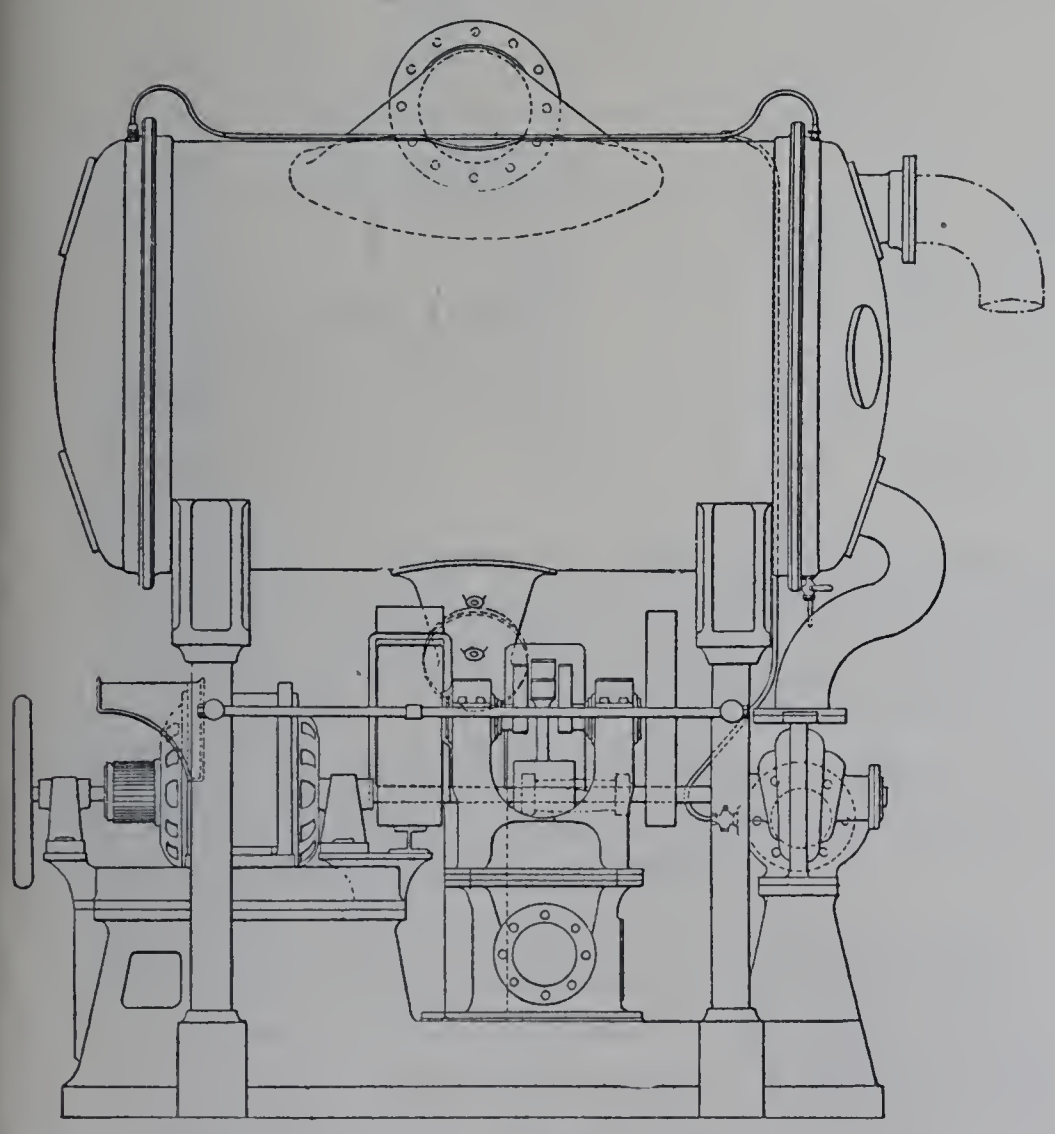


Fig. 647. — Condenseur par surface de MM. Delaunay-Belleville et Cie. Elévation longitudinale.

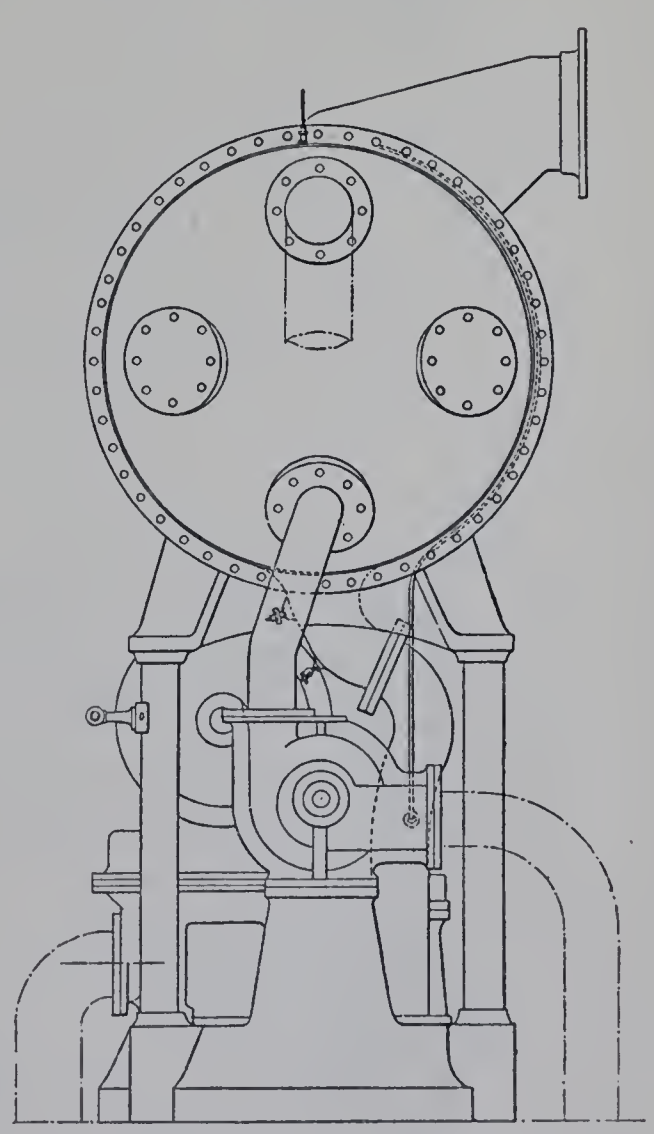


Fig. 648. — Élévation latérale.

produit par un courant d'eau sans mélange avec la vapeur condensée. A terre, ces appareils sont restés jusqu'à présent peu usités. Moins simples et moins rustiques que les condenseurs par mélange, ils nécessitent, en outre, une quantité notamment plus considérable d'eau de réfrigération. Leur emploi, du moins lorsqu'il s'agit de machines à piston, n'est donc indiqué que dans les cas où l'eau naturelle dont on dispose est à la fois abondante et impropre à l'alimentation des chaudières. Encore est-il souvent

plus pratique de renoncer à la condensation et de faire subir à l'eau destinée aux générateurs une épuration préalable, plutôt que de recourir à la condensation par surface.

Certaines eaux, qui ne peuvent être envoyées brutes aux chaudières parce qu'elles sont trop incrustantes, ne sauraient non plus passer dans les faisceaux tubulaires des condenseurs par surface, tels qu'on les construit usuellement, sans les entartrer au bout de peu de temps.

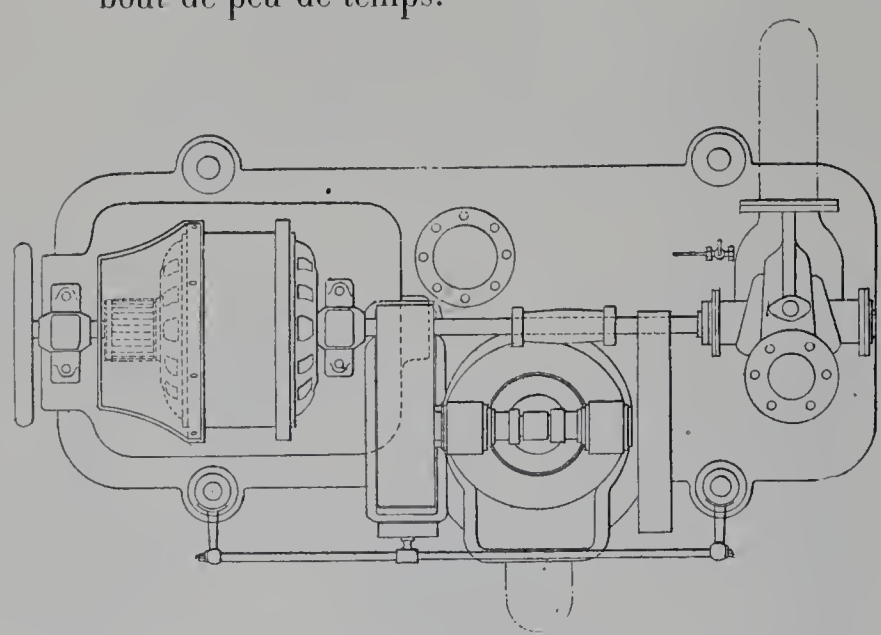


Fig. 649. — Plan des pompes.

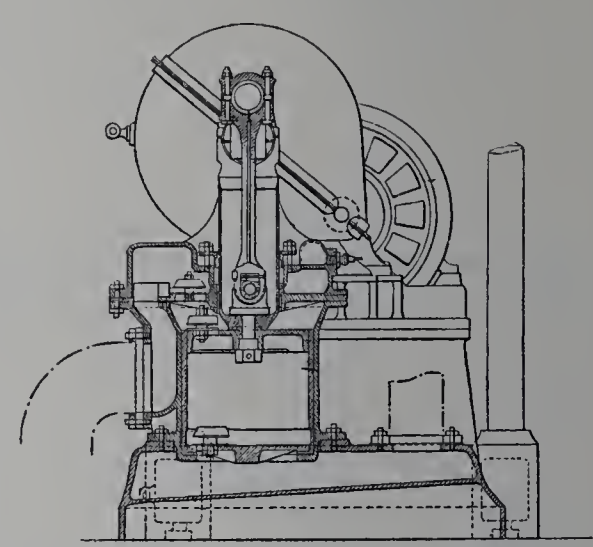


Fig. 650. — Coupe de la pompe à air.

Il est cependant des cas où, même à terre, ce système de condensation se recommande à l'attention des ingénieurs. Pour les turbines, il est particulièrement indiqué. Sur les installations d'une mine dont les eaux d'exhaure sont acides, ou à proximité d'une venue d'eau chlorurée, il peut éviter des dangers.

MM. Delaunay-Belleville et Cie exposent un condenseur par surface (fig. 647 à 650), qui reçoit la vapeur de leur machine verticale à grande vitesse. L'appareil est établi suivant les dispositions générales en usage à bord des navires. L'eau réfrigérante passe à l'intérieur des tubes, tandis que la vapeur se condense dans l'espace intertubulaire. Les tubes sont en laiton, ainsi que les plaques qui les reçoivent. Ils mesurent 18 millimètres de diamètre intérieur et 1 millimètre d'épaisseur, ce qui rentre dans les chiffres classiques; leur longueur est de 1 m. 92; au nombre de 1,465, ils offrent une surface refroidissante de 176 mètres carrés.

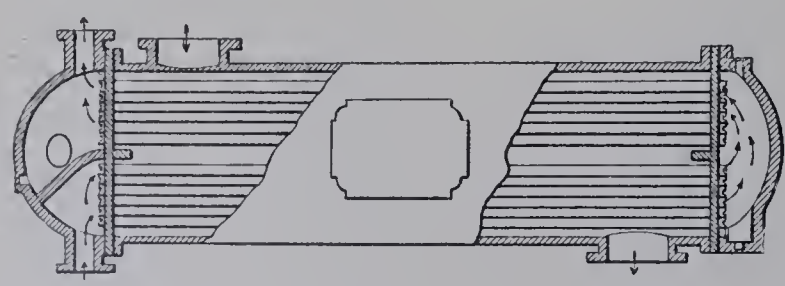


Fig. 651. — Condenseur Wheeler à tubes simples.

C'est un condenseur indépendant : le mouvement est donné aux pompes par un moteur électrique. Pour la circulation de l'eau réfrigérante, ce moteur, qui tourne à 900 tours par minute, actionne directement une pompe centrifuge d'un débit de

300 mètres cubes à l'heure. Pour l'extraction de l'air et de l'eau condensée, une réduction de vitesse par engrenage fait tourner à 150 tours par minute l'arbre de commande d'une pompe à air de 40 centimètres de diamètre et 235 millimètres de course, construite entièrement en bronze (fig. 650).

La Wheeler condenser and engineering C°, de New-York, a acquis dans la construction des condenseurs par surface destinés aux usages industriels une notoriété de longue date. Elle emploie soit des tubes simples (fig. 651), soit des doubles tubes établis suivant le principe des tubes Field : ceux-ci, n'étant fixés qu'à une de leurs extrémités, ont toute liberté de dilatation (fig. 652 et 653). La caisse collectrice est cloisonnée, d'après le principe classique, de manière que le faisceau se trouve partagé en deux

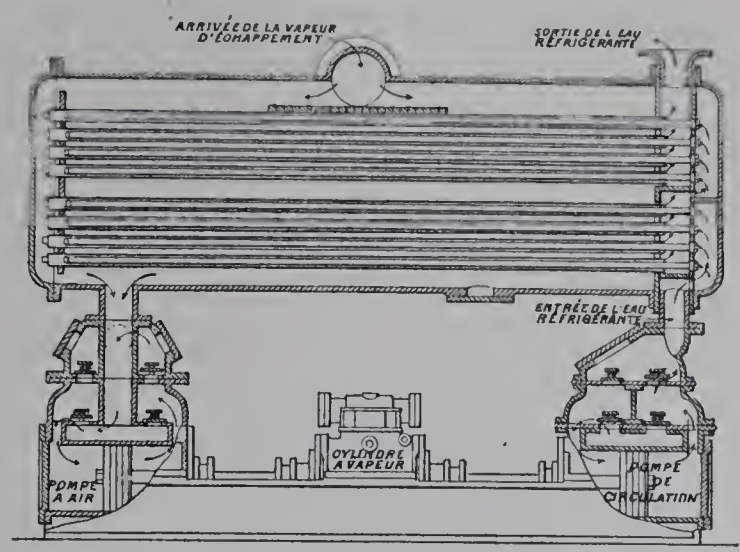


Fig. 652. — Condenseur Wheeler à doubles tubes. Ensemble.

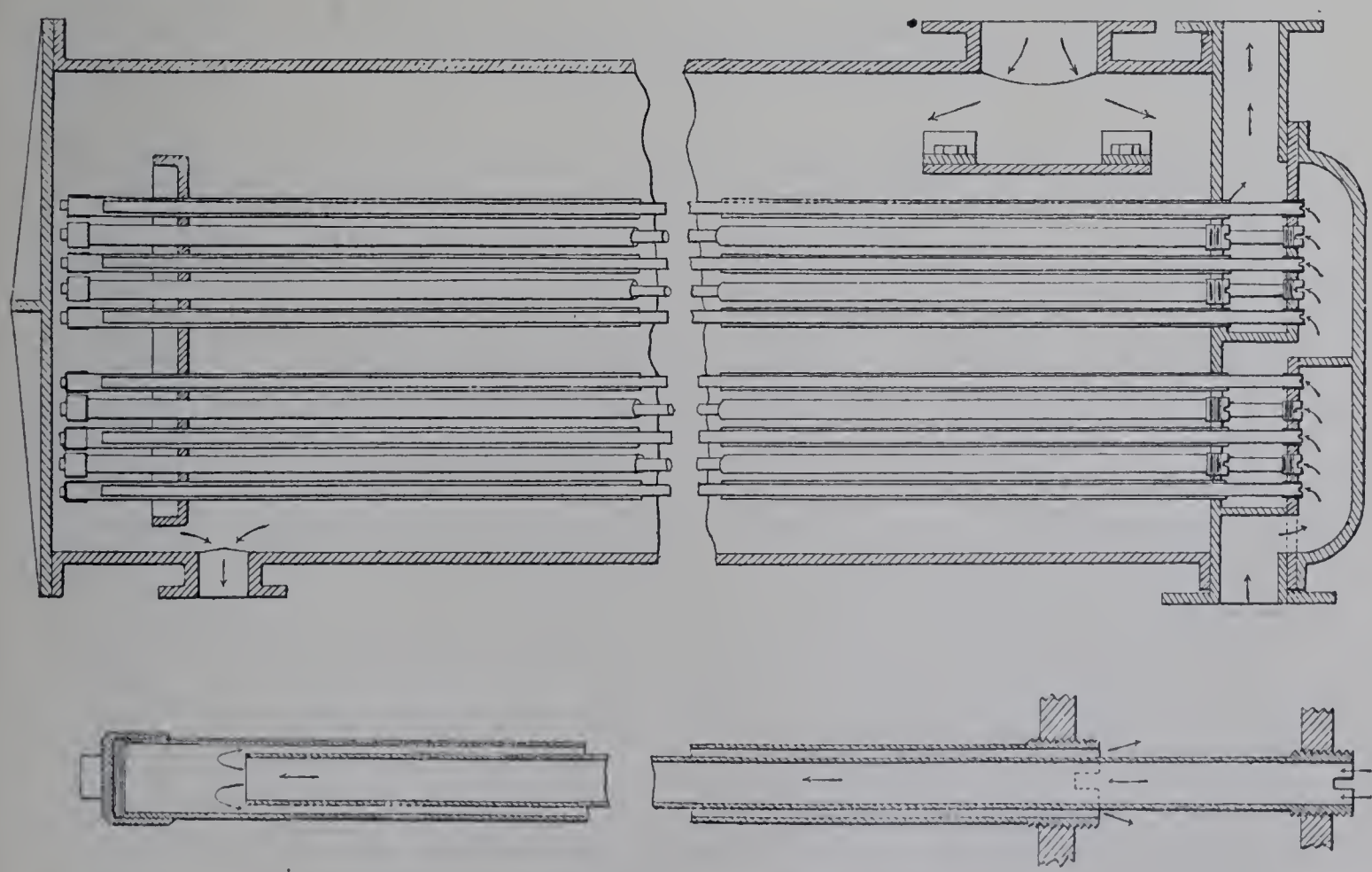


Fig. 653. — Détails d'un condenseur Wheeler à doubles tubes.

moitiés associées en série. La pompe de circulation et la pompe à air, mues par un même piston à vapeur suivant le système Blake, sont disposées au bas de l'appareil, qui forme un ensemble d'installation commode.

Afin d'obtenir un condenseur par surface dont le nettoyage soit facile, en vue du cas où l'eau dont on dispose est incrustante, M. Fouché, de Paris, substitue au faisceau de petits tubes un système de surfaces condensantes formées de plaques creuses ondulées; ces plaques sont réunies les unes aux autres par deux raccords ménagés par emboutissage dans chacune d'elles; l'ensemble des raccords se serre au moyen de deux boulons. Il suffit de démonter ceux-ci et d'ouvrir le couvercle du condenseur pour retirer l'ensemble des surfaces condensantes, dont on peut séparer les éléments pour les nettoyer.

Réfrigérants. — Lorsqu'on ne dispose pas d'eau en abondance, on peut conserver le bénéfice de la condensation en refroidissant, au contact de l'air, l'eau chaude provenant du condenseur. Cet arrangement est assez fréquent dans les grandes usines, combiné avec l'emploi des condenseurs par mélange. Tantôt on fait jaillir l'eau, en jets très divisés, au-dessus de bassins où elle se rassemble et achève de se refroidir; tantôt, pour épargner la place, on dispose l'appareil en hauteur : on élève l'eau à refroidir au sommet d'un échafaudage d'où on la fait couler sur des fascines ou des égouttoirs étagés. C'est surtout par l'effet d'une évaporation partielle que l'eau abaisse sa température : d'où la nécessité d'une dépense d'eau, sensiblement du même ordre de grandeur que pour le fonctionnement à échappement libre.

Aéro-condenseur. — On peut, en principe, dans le système du condenseur par surface, se passer totalement d'eau pour la condensation, en employant directement l'air atmosphérique comme fluide refroidisseur. C'est le principe de l'aéro-condenseur, auquel M. Frédéric Fouché a consacré des efforts persévérants. Dans les premiers appareils de ce constructeur, la vapeur à condenser passait dans un faisceau de tubes d'acier de petit diamètre, disposés verticalement et autour desquels un courant d'air transversal était produit par un ventilateur. L'appareil, sous cette forme, a bien fonctionné; mais, outre qu'il était d'une fabrication coûteuse, il absorbait, pour le fonctionnement du ventilateur, une puissance excessive. Il n'a pu trouver pratiquement d'applications que dans les usines où l'on avait à utiliser l'air chaud.

L'inventeur a cherché depuis lors à améliorer le rendement. Il a essayé d'employer de l'air humide; mais l'eau incrustait la surface extérieure des tubes et il a renoncé à ce moyen. Dans le type qu'il présente à l'Exposition, il ne donne plus à la surface de condensation la forme d'un faisceau tubulaire; il emploie des plaques creuses ondulées, semblables à celles dont on a parlé à propos de son condenseur à eau. L'air, dans sa circulation au contact de ces surfaces, trouve partout une section de passage uniforme, calculée de manière à réduire le plus possible les frottements. De plus, au lieu de placer les surfaces condensantes au niveau du sol en prolongement de l'axe du ventilateur, M. Fouché les a disposées en hauteur de manière à former cheminée. L'air, insufflé à la base, s'échauffe à mesure qu'il s'élève et sa diminution de densité produit un tirage qui vient en aide au ventilateur.

Dégraissage de l'eau. — Il ne faut pas oublier que, pour distillée qu'elle soit, l'eau extraite par la pompe à air d'un condenseur par surface ne saurait, en général, être renvoyée telle quelle aux chaudières. La sécurité demande qu'elle soit, au préalable, soigneusement dégraissée. Les condenseurs de MM. Delaunay-Belleville et Cie sont munis de filtres dégraisseurs. Au nombre des appareils exposés par la Wheeler condenser and engineering Co figure un filtre pour eau de condensation.

CHAPITRE VII.

MACHINES MI-FIXES ET LOCOMOBILES.

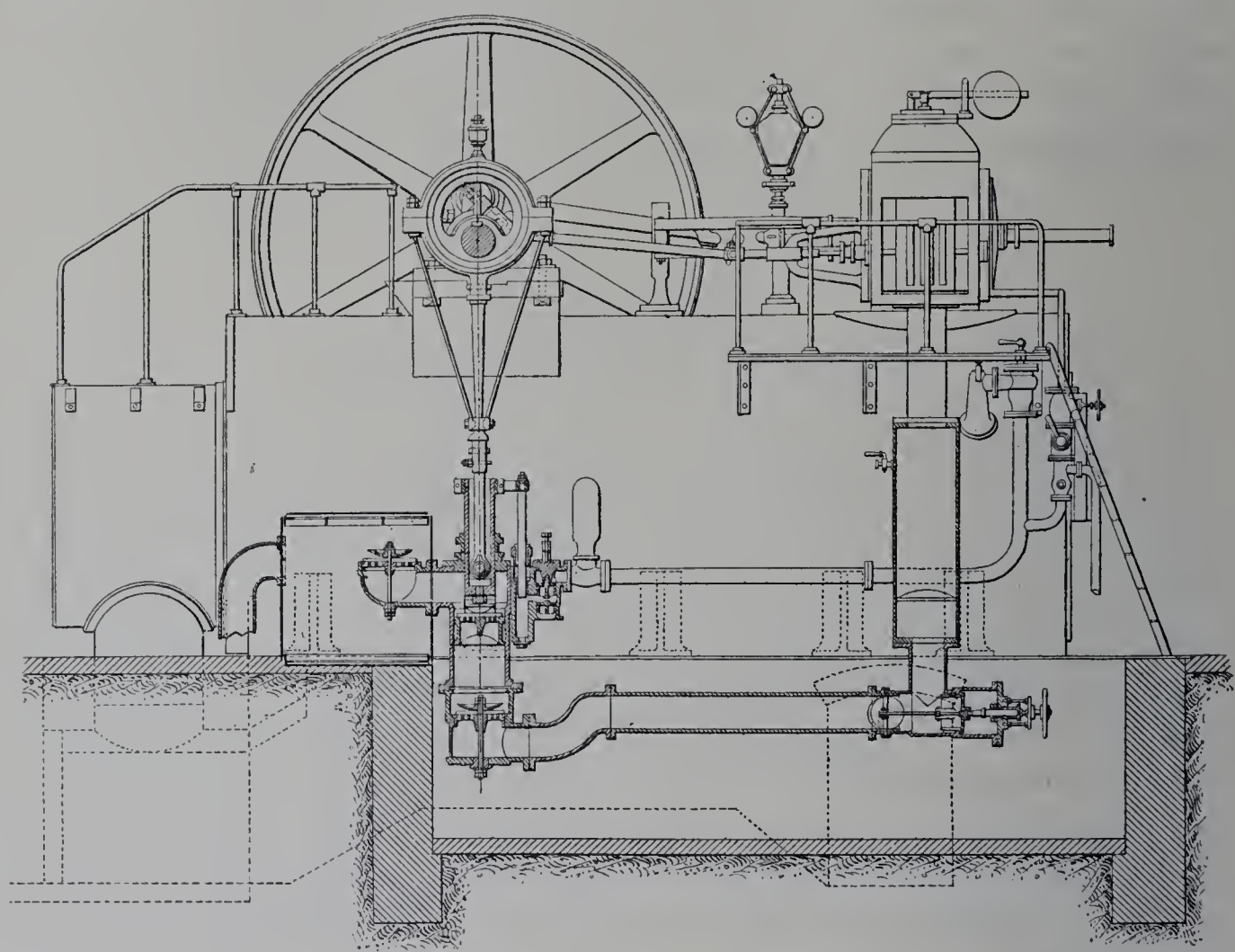
C'est sous la forme de locomobiles, en particulier pour les usages agricoles et pour le service des chantiers de travaux, que les appareils stationnaires, comprenant chaudière et machine groupées en un même ensemble, furent tout d'abord exclusivement employés. Mais le champ d'application de ces engins s'est progressivement étendu. On a trouvé commode pour une foule d'applications, même en dehors des établissements temporaires, ces appareils moteurs peu encombrants, qui forment un tout complet et se mettent en place sans grande préparation du local, sans aucune installation de tuyauterie. On fabrique aujourd'hui des machines mi-fixes de 100 chevaux et plus, auxquelles on applique la double expansion, la détente variable, au besoin la condensation. Ce sont naturellement les grands constructeurs de locomobiles agricoles qui se sont trouvés conduits, en amplifiant leurs types, à étendre leur spécialité jusqu'aux moteurs de cette importance.

Grandes machines mi-fixes de la section allemande. — L'Allemagne va particulièrement loin dans cette voie. M. R. Wolf, de Magdebourg-Buckau (fig. 654 à 656) et M. Heinrich Lanz, de Mannheim (fig. 657) exposent chacun une machine mi-fixe dont la puissance normale est d'environ 250 chevaux.

Les chaudières de ces appareils appartiennent au type horizontal à foyer intérieur cylindrique et tubes à fumée en prolongement du foyer. Le foyer et les tubes constituent un ensemble amovible : deux grands joints circulaires boulonnés assemblent le système vaporisateur aux extrémités de la calandre. Pour absorber la différence de dilatation entre ces deux parties, on met à profit l'élasticité des joints interposés dans les assemblages. Dans la construction de M. Lanz, le tube-foyer est d'ailleurs en tôle ondulée, ce qui donne au système vaporisateur de l'élasticité longitudinale. Enfin les chaudières sont soigneusement enveloppées de revêtements calorifuges, ce qui assure, en même temps qu'une faible perte par rayonnement extérieur, une température aussi élevée que possible de tout le corps cylindrique.

La chaudière de M. Wolf, timbrée à 10 kilogrammes, offre 120 mètres carrés de surface de chauffe, 2 m² 76 de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 45\right)$ et environ 15 mètres cubes

de capacité. Le corps cylindrique, de 2 m. 08 de diamètre et environ 6 mètres de longueur, est construit en tôle douce de 25 millimètres d'épaisseur. Le tube-foyer



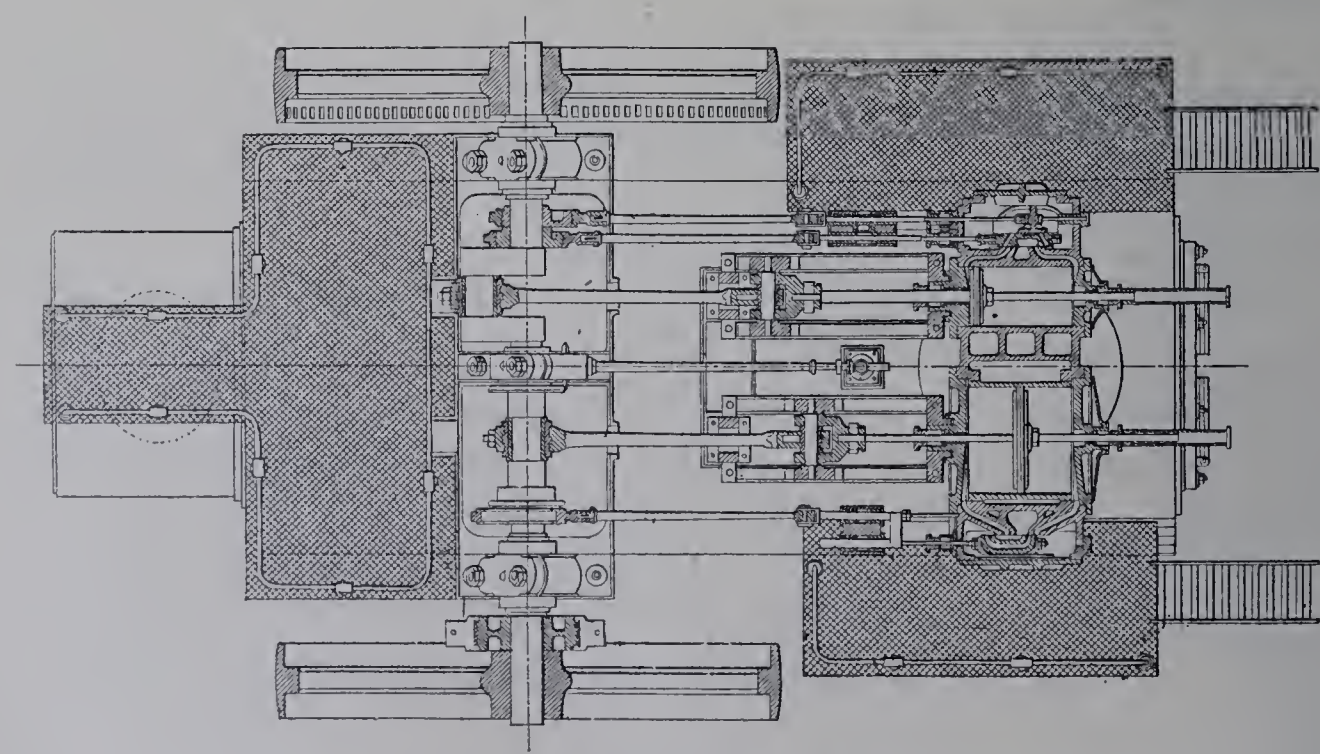


Fig. 654. — Machine mi-fixe de M. R. Wolf.

mesure 1 m. 48 de diamètre et 2 m. 50 de longueur; les tubes, de 76 millimètres de diamètre, au nombre de 137, sont vissés dans les plaques tubulaires, puis mandrinés

et matés. Ils sont disposés en quinconce; leurs intervalles sont aisément accessibles aux outils de nettoyage une fois le vaporisateur sorti de la calandre.

Le grand joint circulaire, côté foyer, comporte 70 boulons; celui de l'extrémité opposée (côté boîte à fumée), qui est naturellement de diamètre moindre pour que sa bride puisse passer dans l'ouverture du premier, en compte 58. Les fonds, largement évidés, sur lesquels se font ces assemblages, sont plats; leur principale étendue en dehors de l'évidement, c'est-à-dire leur partie supérieure, se trouve raidie par un système d'armatures qui a en même temps pour but de mettre le corps cylindrique en état de supporter le poids et les autres actions, tant verticales qu'horizontales, du mécanisme : ce sont des fers à I, visibles sur la fig. 655.

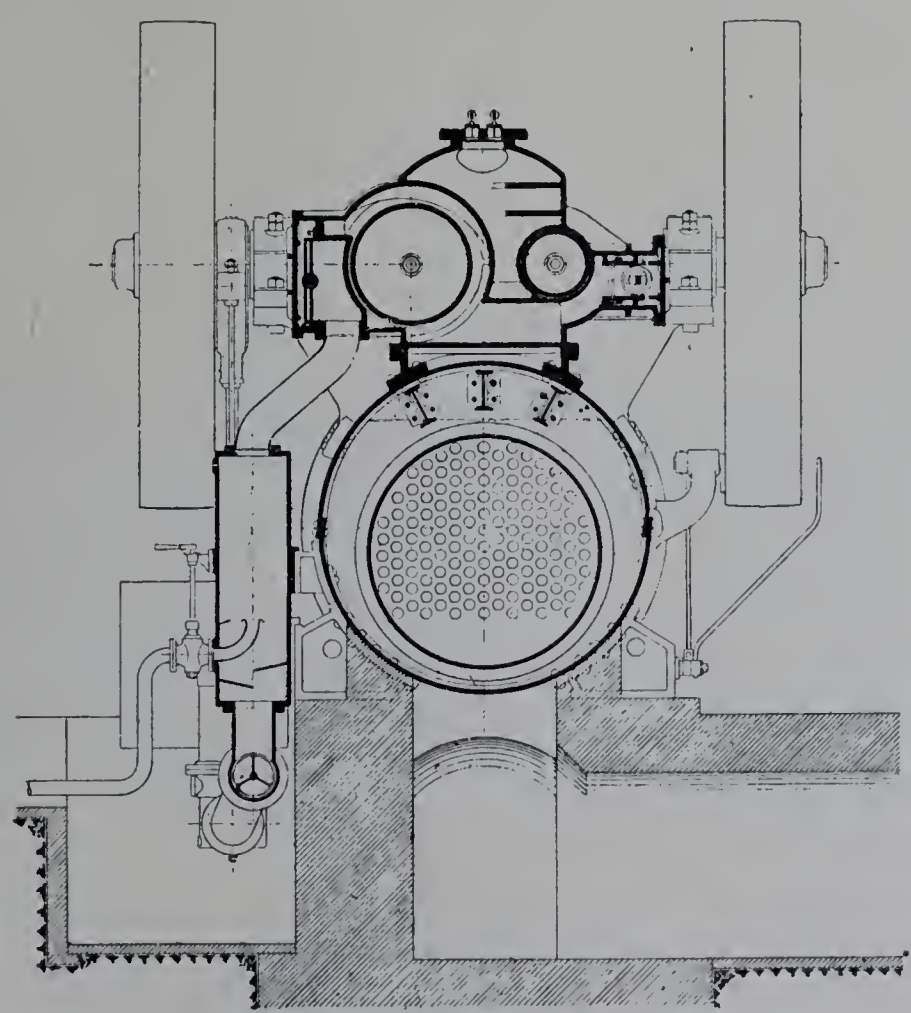


Fig. 655. — Coupe transversale de la machine mi-fixe de M. R. Wolf.

Le récepteur est à double expansion : les deux cylindres, de 40 et 74 centimètres de diamètre pour 60 centimètres de course, sont juxtaposés et noyés à l'intérieur d'un dôme de prise de vapeur en fonte avec lequel ils ne font qu'un. Ce dôme, qui renferme également le réservoir intermédiaire entre les cylindres, est fixé, au moyen d'un assemblage par brides et boulons avec joint en cuivre rouge, sur un piétement de fonte rivé à la chaudière. L'arbre moteur, doublement coudé, est assujetti dans trois paliers, que porte une seconde pièce d'assise fixée sur le corps cylindrique au-dessus du faisceau tubulaire.

Les réactions longitudinales entre les cylindres et les paliers, qui sont d'ailleurs

IMPRIMERIE NATIONALE.

diminuées par ce fait que les deux manivelles sont à 180 degrés, s'exercent par l'intermédiaire de la chaudière ou, pour mieux dire, des fers à I qui la doublent et qui forment le complément du bâti.

Ainsi constitué, ce dernier éprouve, par suite de l'échauffement du corps de chaudière, des dilatations auxquelles le mécanisme ne participe pas. Il faut donc avoir soin, comme le font les ateliers de M. Wolf, de régler à chaud le mécanisme.

Les glissières sont portées à l'une de leurs extrémités par le bloc des cylindres, à l'autre par un chevalet spécial qui reporte les réactions verticales sur le bâti, c'est-à-dire sur la chaudière.

L'arbre est chargé à ses extrémités de deux volants de 3 m. 20 de diamètre et 50 centimètres de largeur de jante, pesant chacun 3,600 kilogrammes. L'un d'eux est pourvu d'une denture intérieure, sur laquelle on agit à l'aide d'un levier à cliquet pour la mise au point de départ. Dans la prévision d'une légère flexion de l'arbre, les paliers extrêmes sont à rotule et celui du milieu est muni de coussinets réglables. Les coussinets sont en fonte avec métal antifriction.

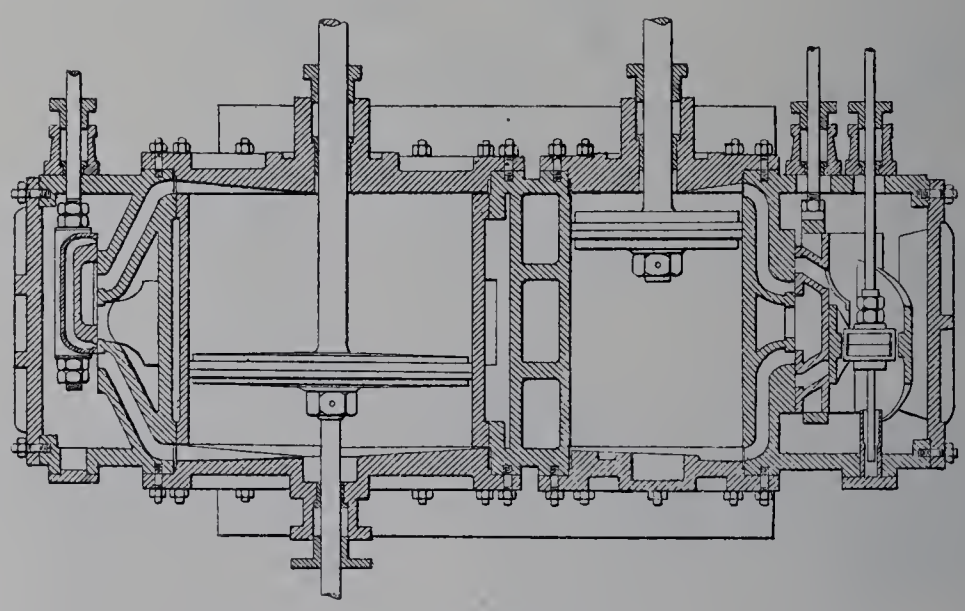


Fig. 656. — Coupe axiale des cylindres.

La distribution (fig. 656) est du système Rider au petit cylindre; l'orientation du tiroir de détente est placée sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge, du type Porter. Au grand cylindre, la détente est réglable à la main; l'organe de distribution est un tiroir plan à canal de Trick.

La machine est munie d'un condenseur par mélange, placé latéralement. La pompe à air, verticale, est actionnée par un excentrique. L'eau chaude extraite du condenseur se rend dans une bâche à chicanes où elle se dégraisse pour décantation; une pompe mue par le même excentrique que la pompe à air puise l'eau d'alimentation dans la partie de cette bâche à l'abri de l'huile. L'alimentation est, en outre, assurée par un injecteur.

La vitesse normale de rotation est de 110 tours par minute, ce qui correspond à 2 m. 20 par seconde pour la vitesse moyenne des pistons. La puissance peut varier de 215 chevaux, pour 0.2 d'admission au petit cylindre, à 360 chevaux pour 0.55.

L'encombrement total, volants compris, est 7 m. 25 de long, 4 m. 40 de large et 4 m. 60 de haut : la machine pèse 61 tonnes.

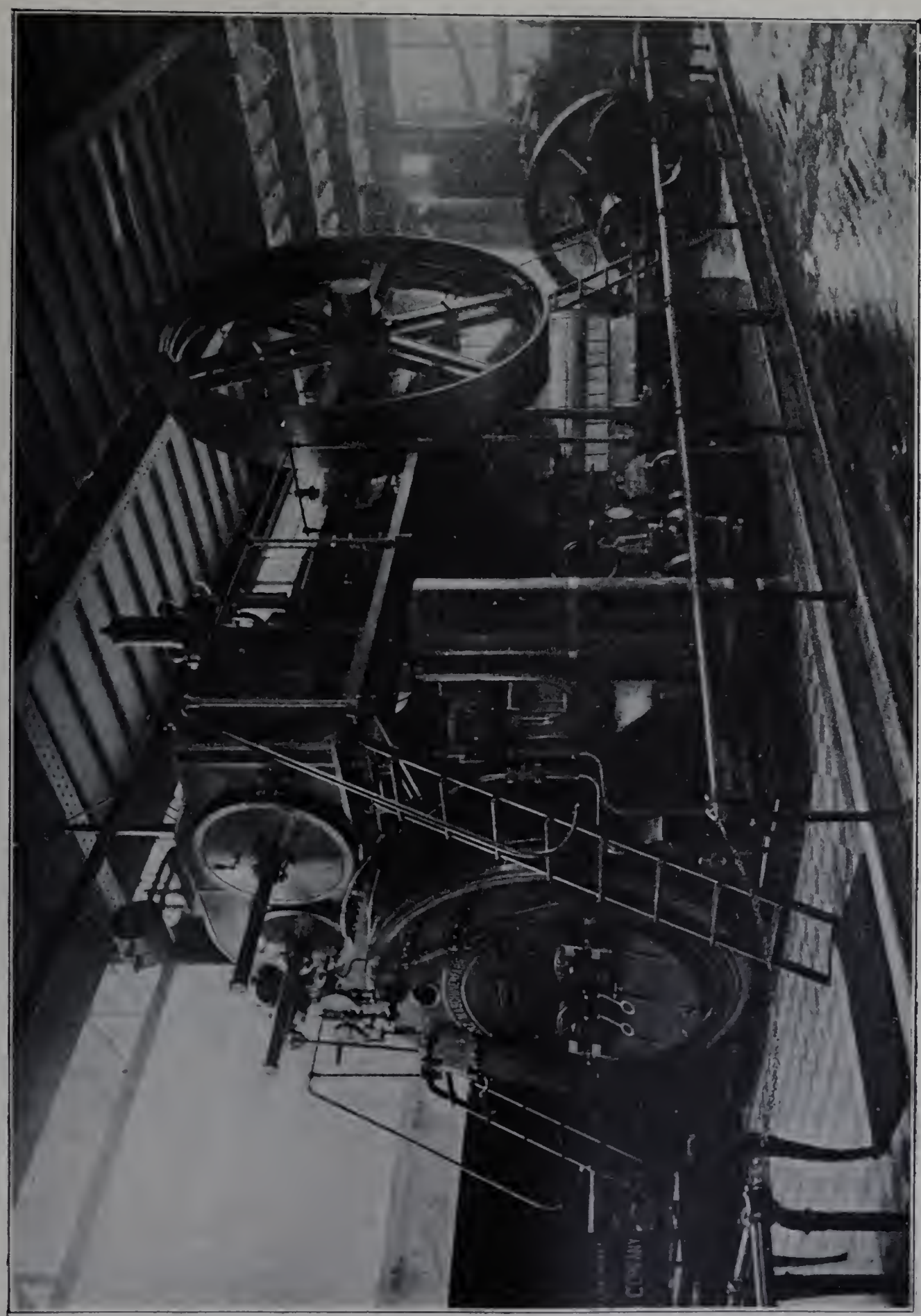


Fig. 657. — Machine mi-fixe de M. H. Lanz.

La grande machine mi-fixe de M. H. Lanz, dont la figure 657 permet d'apprécier l'ensemble, est très analogue à la précédente comme dispositions générales. Toutefois

elle s'en distingue par d'intéressants détails de construction. La chaudière, dont la surface de chauffe atteint 135 mètres carrés, a, comme nous l'avons déjà dit, son foyer en tôle ondulée sans soudure. Les tubes à fumée sont, les uns sertis dans les plaques, les autres vissés pour faire office de tubes-tirants. Le raidissement de la partie haute du corps cylindrique est obtenu au moyen de deux fers à I. Mais les paliers sont directement reliés au bloc des cylindres par de robustes tirants. On a donc ici un bâti de longueur fixe, sous lequel il faut que la chaudière se dilate librement : à cet effet, les paliers sont reliés au corps cylindrique par un support muni de rainures longitudinales sur lesquelles ils peuvent coulisser. La machine occupe un emplacement de 8 m. 40 × 5 m. 20 en plan et 5 m. 50 en hauteur. Son poids est de 65 tonnes.

Appareils mi-fixes de moyenne puissance; locomobiles pour usages divers. — La France et l'Angleterre ne sont pas allées aussi loin que l'Allemagne dans la transformation de la locomobile en grand moteur d'atelier. Mais elles possèdent des spécialistes depuis longtemps renommés pour la construction des machines transportables, monocylindriques ou compound, la puissance de ces dernières allant jusqu'à une centaine de chevaux.

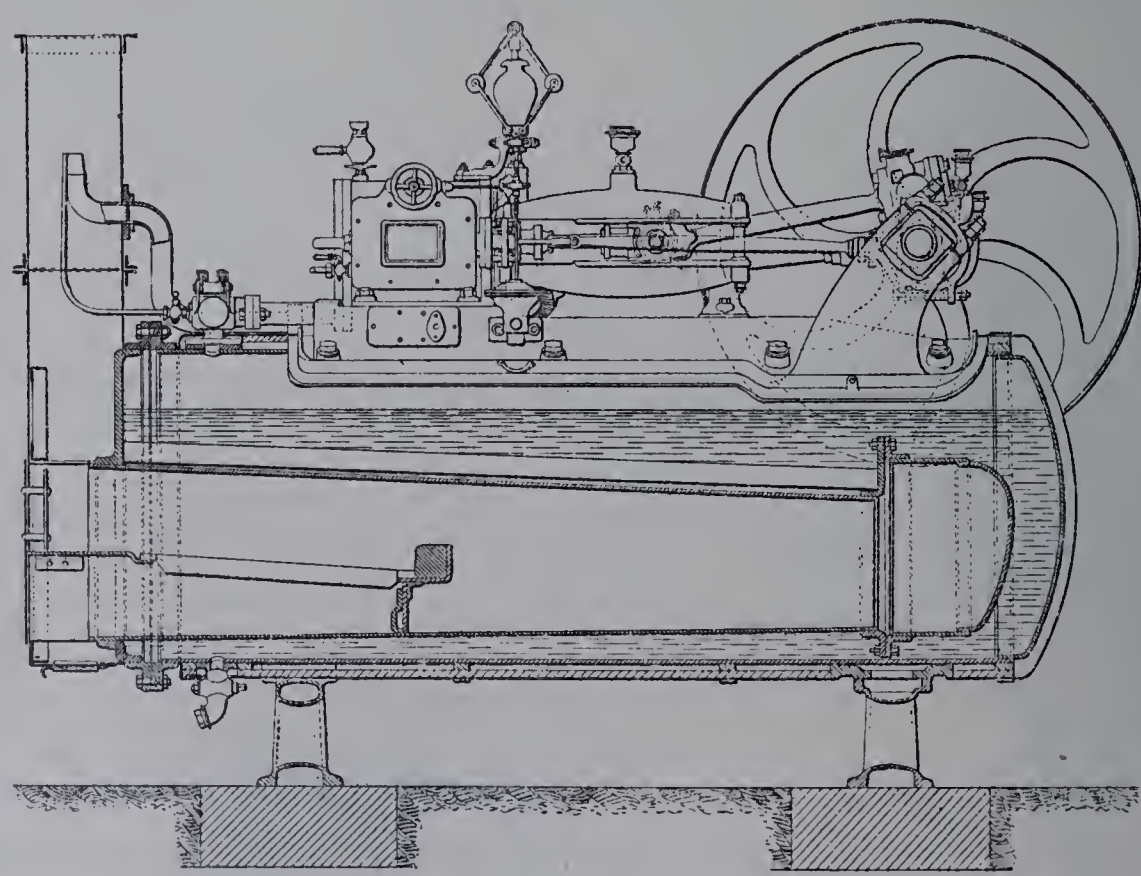


Fig. 658. — Machine mi-fixe monocylindrique de la Société Weyher et Richemond. Coupe et élévation longitudinale.

Dans la section française, la Société des Établissements Weyher et Richemond expose deux types mi-fixes, l'un à double expansion, d'une puissance normale de 65 chevaux pouvant être poussée à 90, l'autre à expansion simple, de 40 chevaux, susceptible d'en développer 55. Plus bas sur l'échelle des puissances, la même maison présente

une locomobile de 25 chevaux, dont les dispositions sont représentées par les figures 658 à 662.

Ces appareils empruntent le type de leurs chaudières au système dont

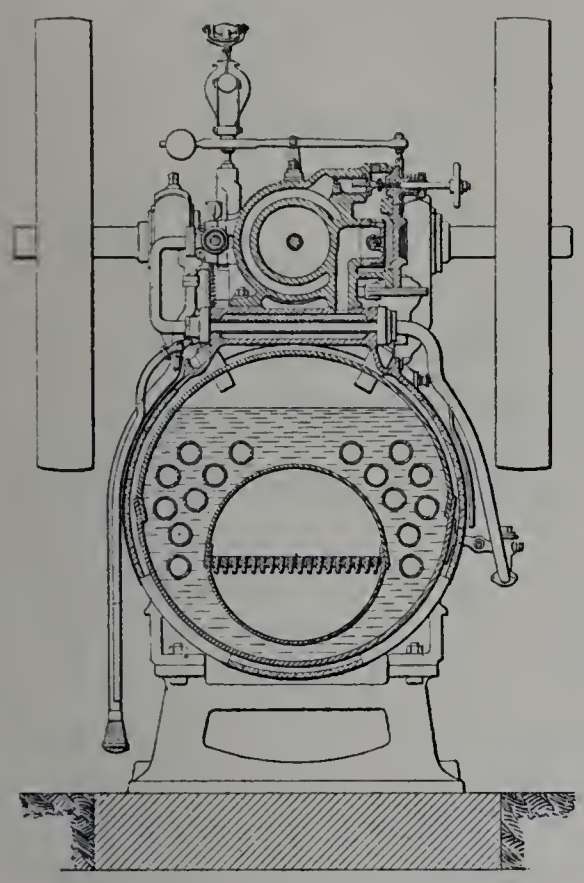


Fig. 659. — Coupe transversale.

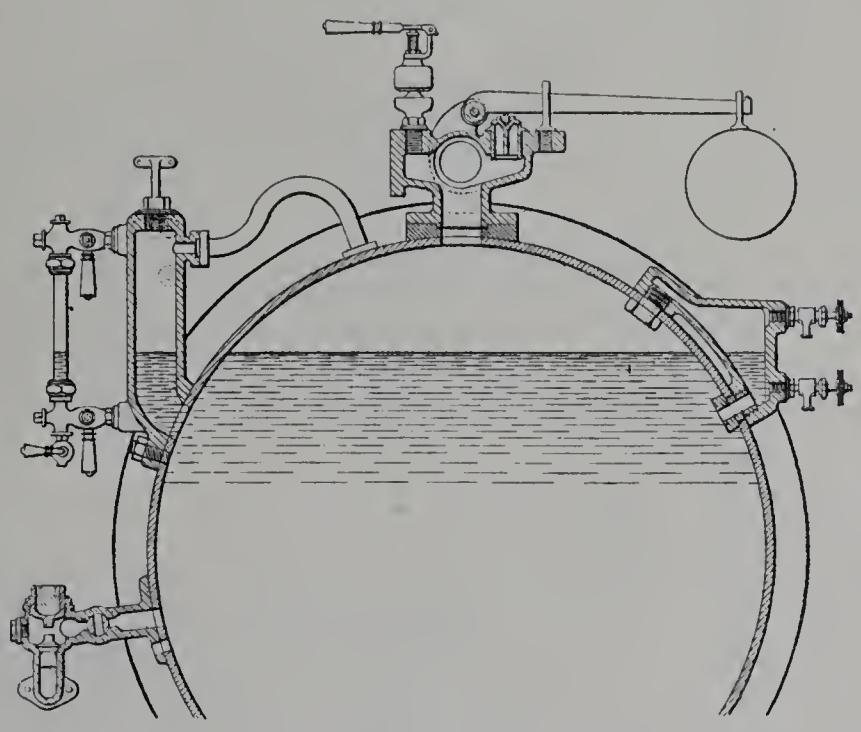


Fig. 661. — Détail des appareils de sûreté de la chaudière.

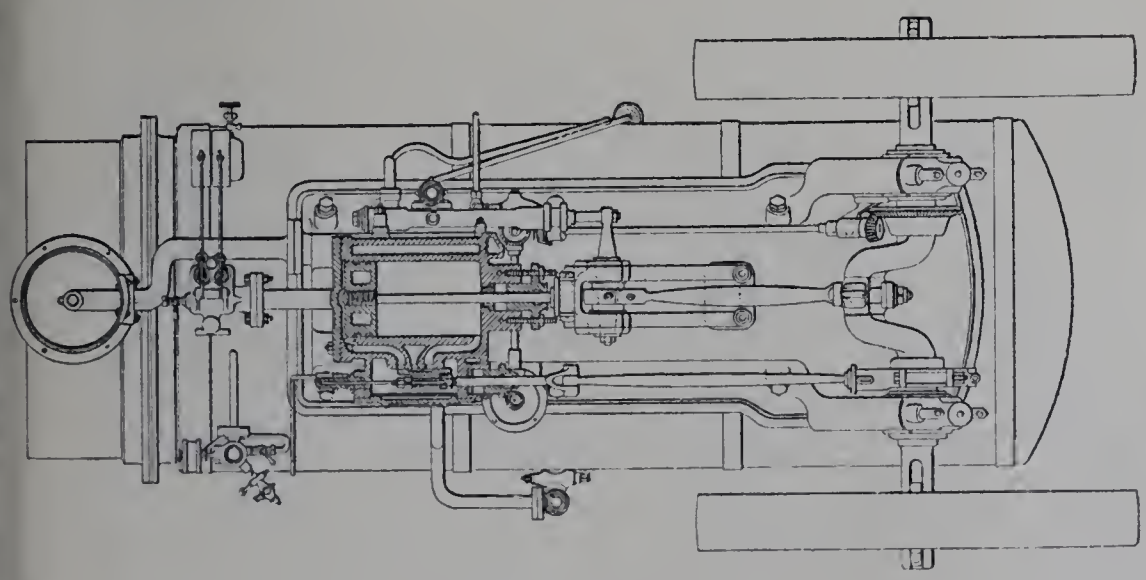


Fig. 660. — Plan.

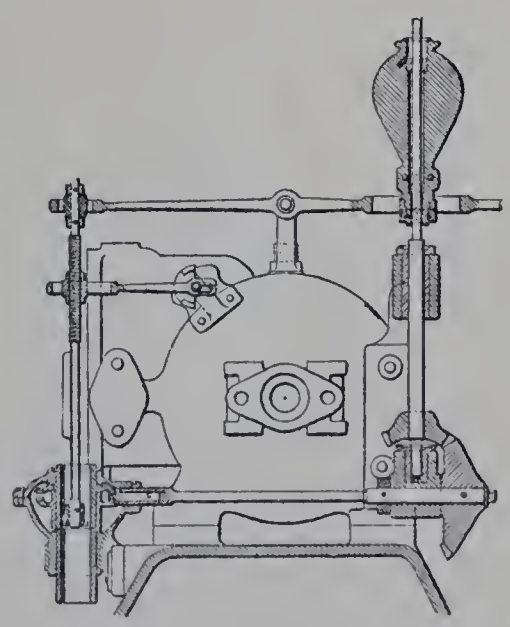


Fig. 662. — Détail du régulateur et du compensateur.

MM. Weyher et Richemond ont puissamment développé l'emploi dans l'industrie française, le système Thomas, Laurens et Pérignon. C'est la chaudière horizontale à tube-foyer intérieur et retour de flamme, le foyer et les tubes à fumée formant un ensemble amovible. Les facilités de nettoyage et de visite, résultant de l'amovibilité du système

vaporisateur, sont les mêmes que dans le type Farcot à flamme directe; mais on n'a qu'un joint circulaire au lieu de deux. La dilatation du vaporisateur est entièrement libre. La calandre, portant à l'une de ses extrémités la collerette sur laquelle la plaque de tête du vaporisateur vient se boulonner, se termine à l'autre par un fond embouti convenablement bombé. Le vaporisateur comprend, à l'extrémité du tube-foyer, une panse de retour de flamme dans laquelle les gaz de la combustion se brassent et s'éteignent avant de s'engager dans les tubes à fumée.

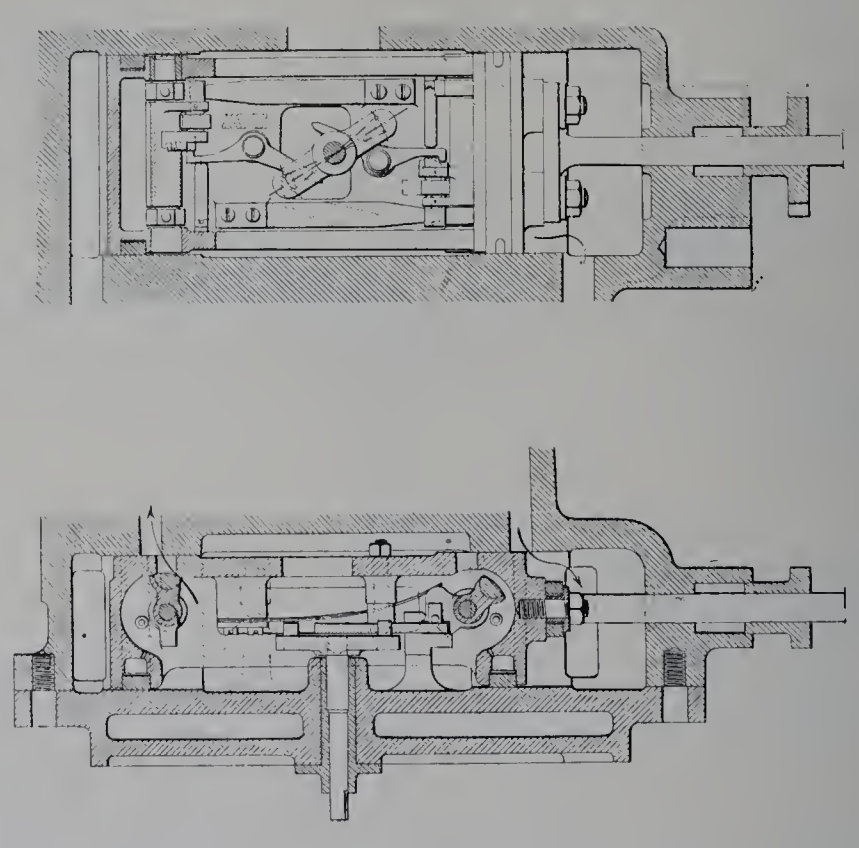


Fig. 663. — Distribution par tiroir plan équilibré avec volets de détente à déclenchement, de la machine mi-fixe de 40 chevaux de MM. Weyher et Richemond.

La chaudière de la machine de 65 à 90 chevaux offre 36 mètres carrés de surface de chauffe; son diamètre est 1 m. 45, sa longueur 4 m. 75, sa capacité 5 mètres cubes environ. Elle est timbrée à 8 kilogrammes. Le récepteur est à deux cylindres compound juxtaposés, de 0 m. 285 et 0 m. 48 de diamètre, avec 0 m. 48 de course; la vitesse de rotatation est de 90 tours par minute. La solidarité entre le bloc des cylindres et les paliers est assurée par un bâti formant semelle et porté par la chaudière. Les cylindres sont entourés d'une enveloppe de vapeur, qui réchauffe aussi le réservoir intermédiaire. La distribution est donnée par des tiroirs plans; au petit cylindre, l'admission est variable au moyen de tuiles de détente qui peuvent coulisser sur le dos du tiroir et qui sont déplacées, à point nommé, par la rencontre de butoirs : c'est la vieille détente Farcot; la faible vitesse de rotation permet l'emploi de ce *mécanisme à repos*. La position des butoirs est placée sous la dépendance d'un régulateur Porter avec un compensateur Denis.

La machine est pourvue d'un condenseur par mélange, placé sur le côté. La pompe à air est verticale, à deux corps, de 26 centimètres de diamètre et 16 de course. Elle prend

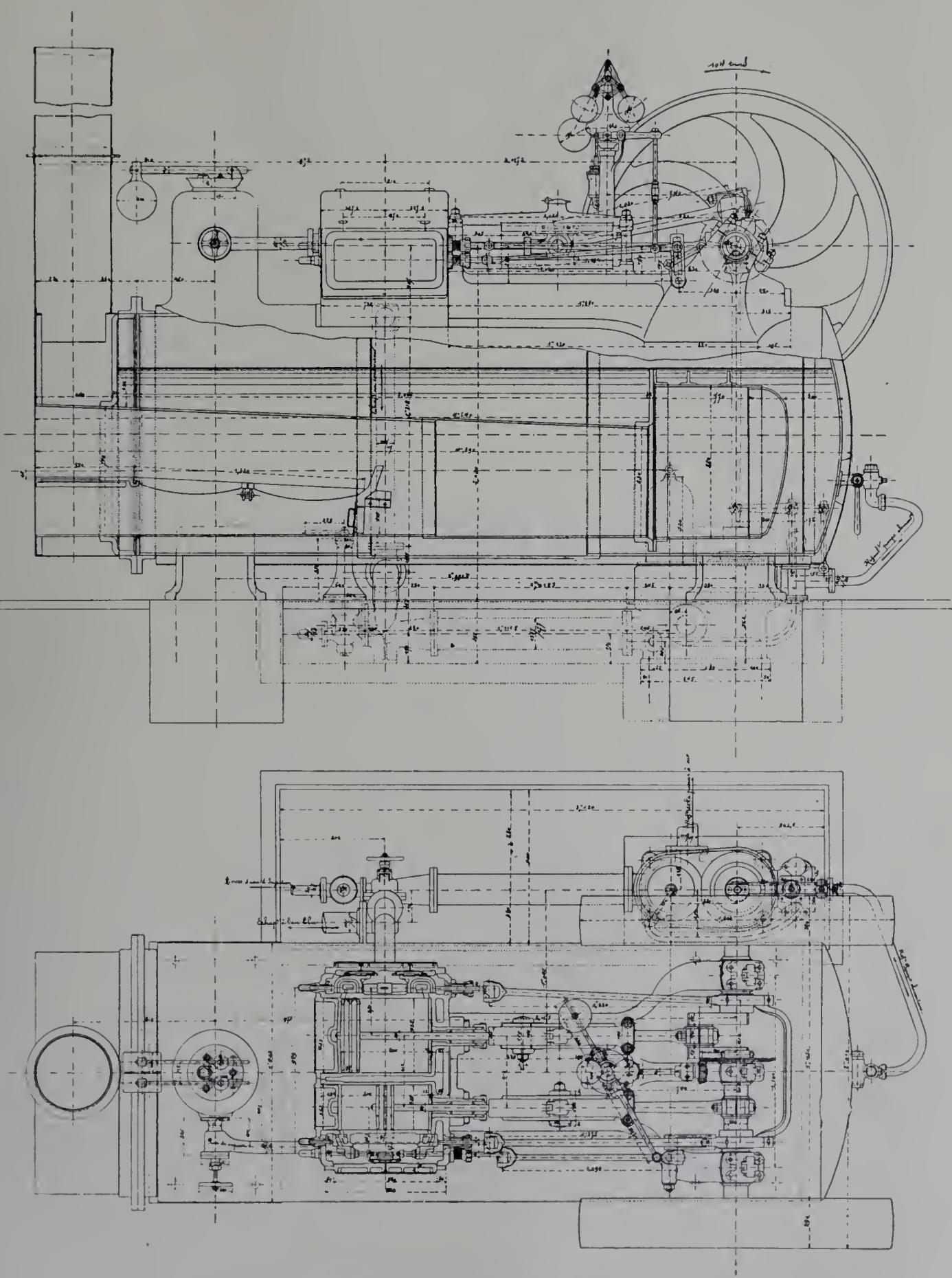


Fig. 664. — Machine mi-fixe de MM. H. Brûlé et Cie.
Coupe longitudinale et plan de la chaudière. — Elévation et coupe horizontale du mécanisme.

son mouvement, par l'intermédiaire d'un balancier, sur la crosse du piston de basse pression.

La machine mi-fixe de 40 à 55 chevaux est monocylindrique et sans condenseur; elle tourne à 120 tours par minute. La chaudière, de 21 mètres carrés de surface de chauffe, est timbrée à 12 kilogrammes. Le cylindre a un diamètre de 0 m. 284 et la course du piston est 0 m. 38. La distribution, donnée par un tiroir plan, est variable au moyen d'un mécanisme à déclic. A cet effet, le tiroir affecte (fig. 663) la forme d'une caisse parallélipipédique, dont l'intérieur est en communication avec l'arrivée de vapeur, tandis que les extrémités de la boîte de distribution communiquent avec l'échappement. Le tiroir occupe toute la section transversale de la boîte, à la façon d'un tiroir cylindrique; l'étanchéité est assurée par des garnitures. Sur les lumières percées dans ce tiroir

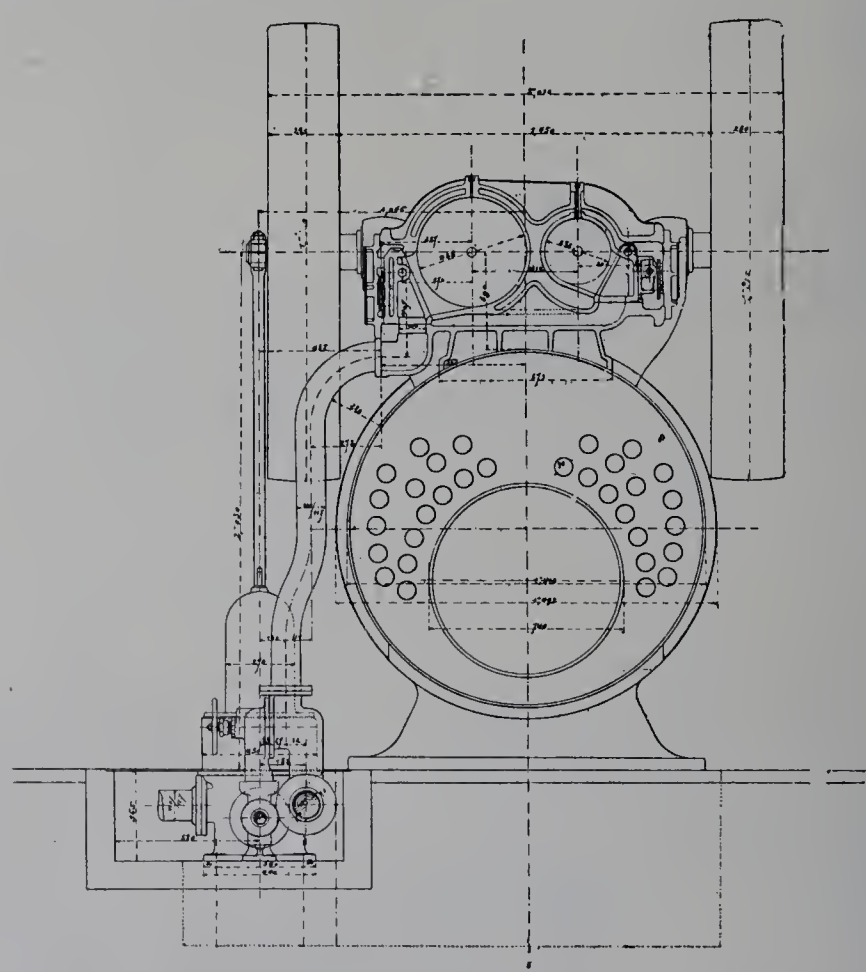


Fig. 665. — Coupe transversale.

pour l'admission de la vapeur, sont disposés, à l'intérieur de la caisse mobile, des volets de détente : ce sont de légers obturateurs oscillants, qui viennent couper le passage de la vapeur aussitôt qu'un déclenchement leur permet d'obéir aux ressorts qui les sollicitent. Le déclenchement est produit successivement pour chaque obturateur, puis celui-ci est ramené en prise avec le cliquet qui le tient ouvert, à l'aide d'un système de butoirs analogues à ceux qui produisent le mouvement relatif des tuiles dans le système de détente à repos de Farcot. Comme dans ce système, les butoirs du centre, desquels dépend le déclenchement, sont placés sous la dépendance du régulateur à force centrifuge. L'admission peut varier de 0 à 25 p. 100.

La locomobile de 25 chevaux offre des dispositions plus simples. La chaudière, de 13 mètres carrés de surface de chauffe, est timbrée à 8 kilogrammes. Le cylindre a

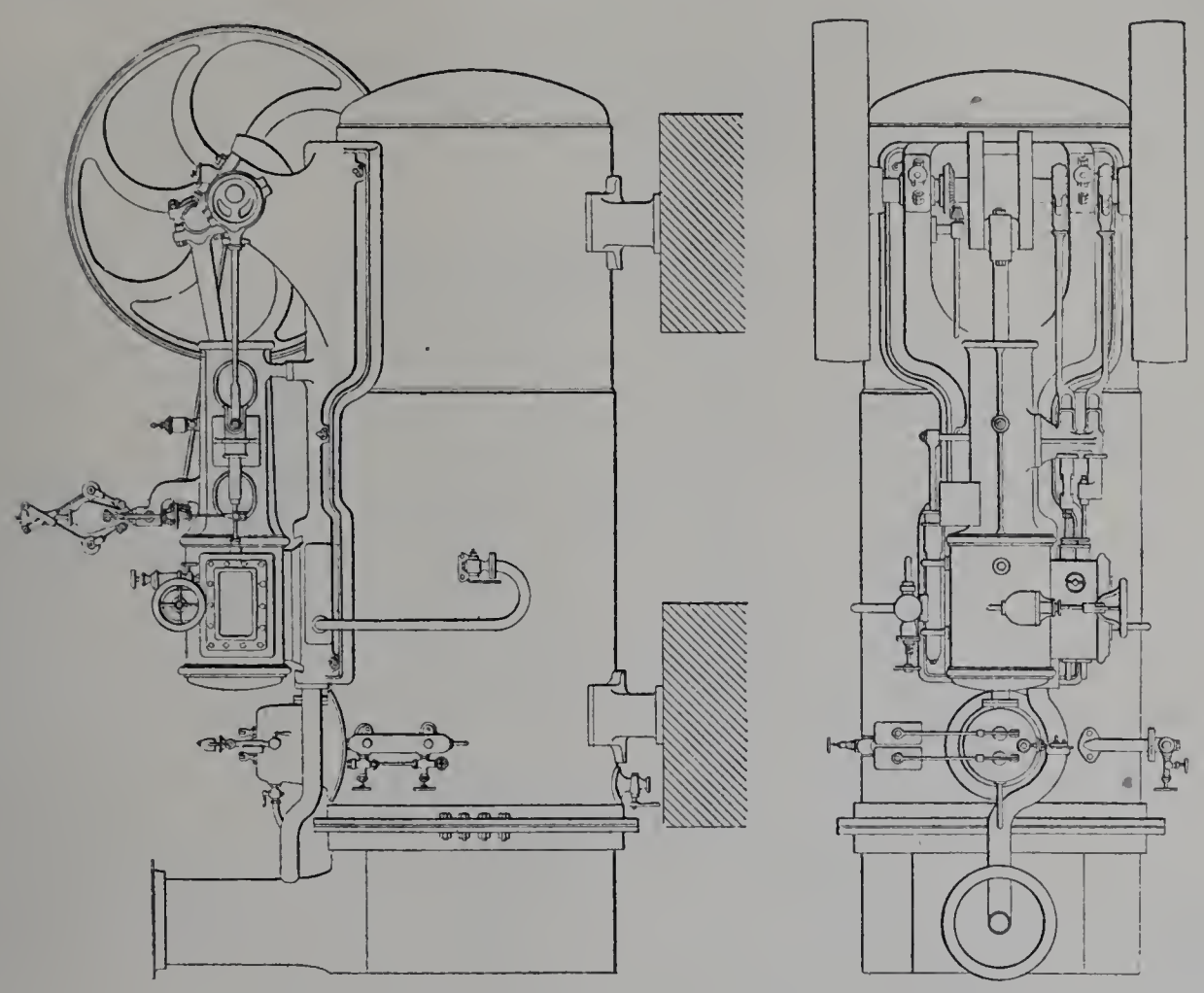


Fig. 666. — Machine mi-fixe de la maison Albaret. — Élévation longitudinale et plan.

0 m. 23 de diamètre et 0 m. 314 de course; l'arbre fourne à 115 tours par minute. La distribution est faite par un tiroir ordinaire et l'action du régulateur à force centrifuge s'exerce sur un papillon d'étranglement interposé dans l'arrivée de vapeur.

C'est également au système Thomas-Laurens qu'appartient la chaudière de la machine mi-fixe de 50 chevaux, à double expansion, exposée par l'ancienne maison Hermann-Lachapelle, aujourd'hui H. Brûlé et Cie (fig. 664 et 665). Cette chaudière, timbrée à 7 kilogrammes, offre 33 m² 50 de surface de chauffe et 0 m² 78 de surface de grille; les diamètres des cylindres sont 0 m. 25 et 0 m. 42, avec une course égale au diamètre du grand cylindre; la vitesse de rotation est de 105 tours par minute. La distribution est donnée au petit cylindre par deux tiroirs superposés : la loi de mouvement du tiroir de détente dépend d'une coulisse, système Finck, sur laquelle agit un régulateur Andrade.

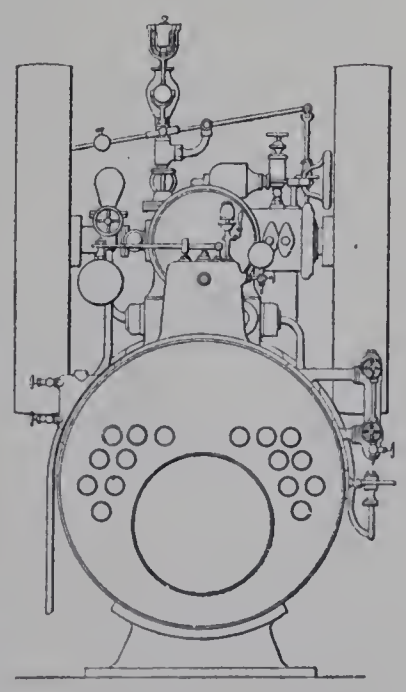


Fig. 667. — Coupe de la chaudière et élévation transversale du mécanisme.

M. Alexandre Aubert présente une locomobile de 25 chevaux, à 110 tours par minute, dont le générateur appartient au même type. La machine est monocylindrique;

le cylindre a 24 centimètres de diamètre et 33 de course; la distribution est à deux tiroirs superposés, genre Rider.

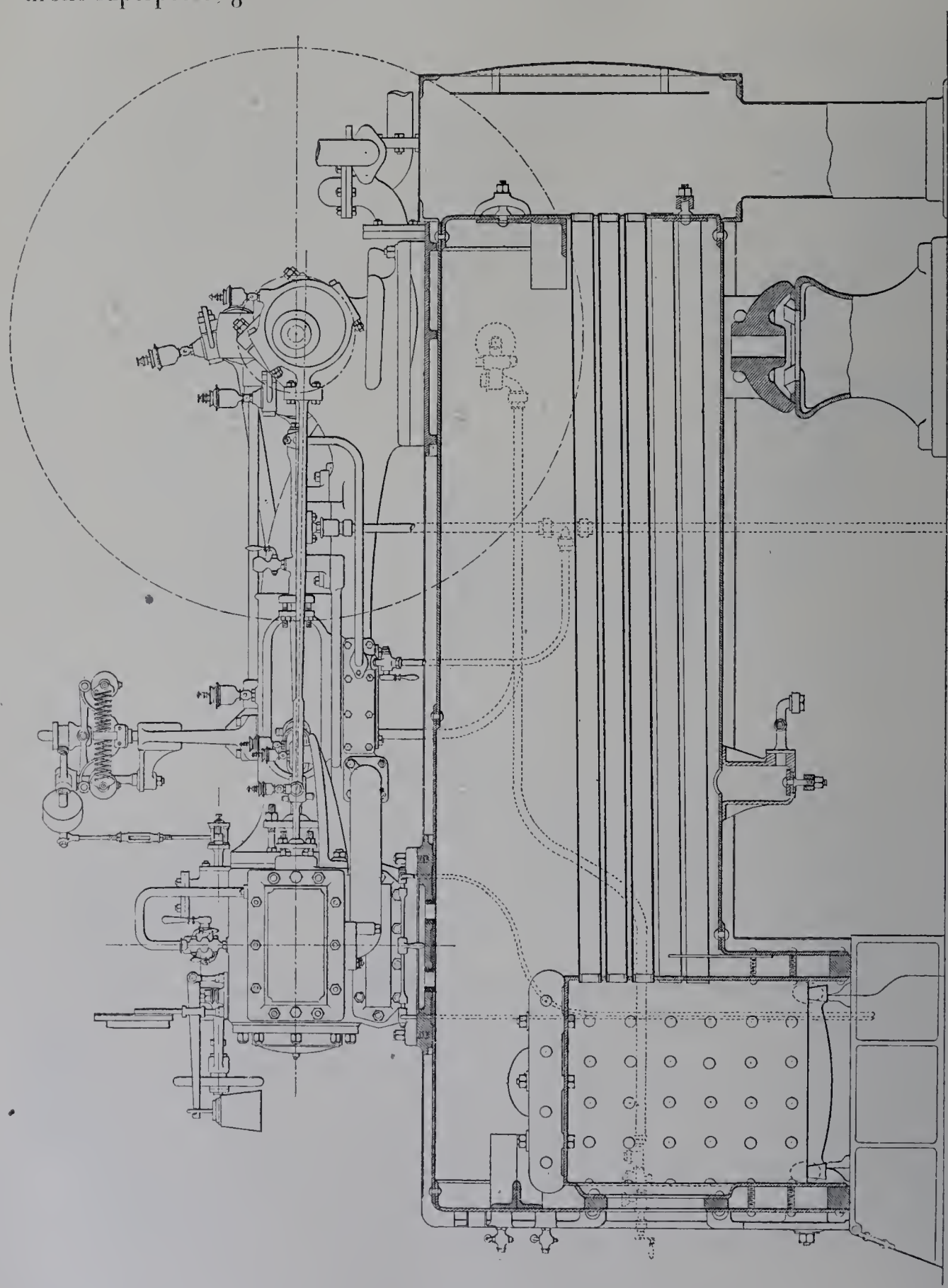


Fig. 668. — Machine mi-fixe compound de M. Chaligny. Coupe et élévation longitudinale.

Citons encore les machines à retour de flamme exposées par la Société française de matériel agricole et industriel (ancienne maison Gérard et Del), de Vierzon (Cher), par l'ancienne maison Albaret, actuellement G. Lefebvre-Albaret, G. Laussedat et Cie, de Rantigny-Liancourt (Oise) (fig. 666 et 667), par MM. Brouhot et Cie, par

MM. Merlin et Cie, de Vierzon, par MM. Popineau-Vizet fils et Cie, de la Plaine-Saint-Denis (Seine).

Très usuellement, les locomobiles ont leurs générateurs établis suivant la disposition générale des chaudières de locomotives. C'est un type dont les règles de construction et les conditions d'entretien sont bien connues; il donne des appareils légers et convient à toute l'échelle des puissances. Nous le trouvons notamment employé, avec des détails

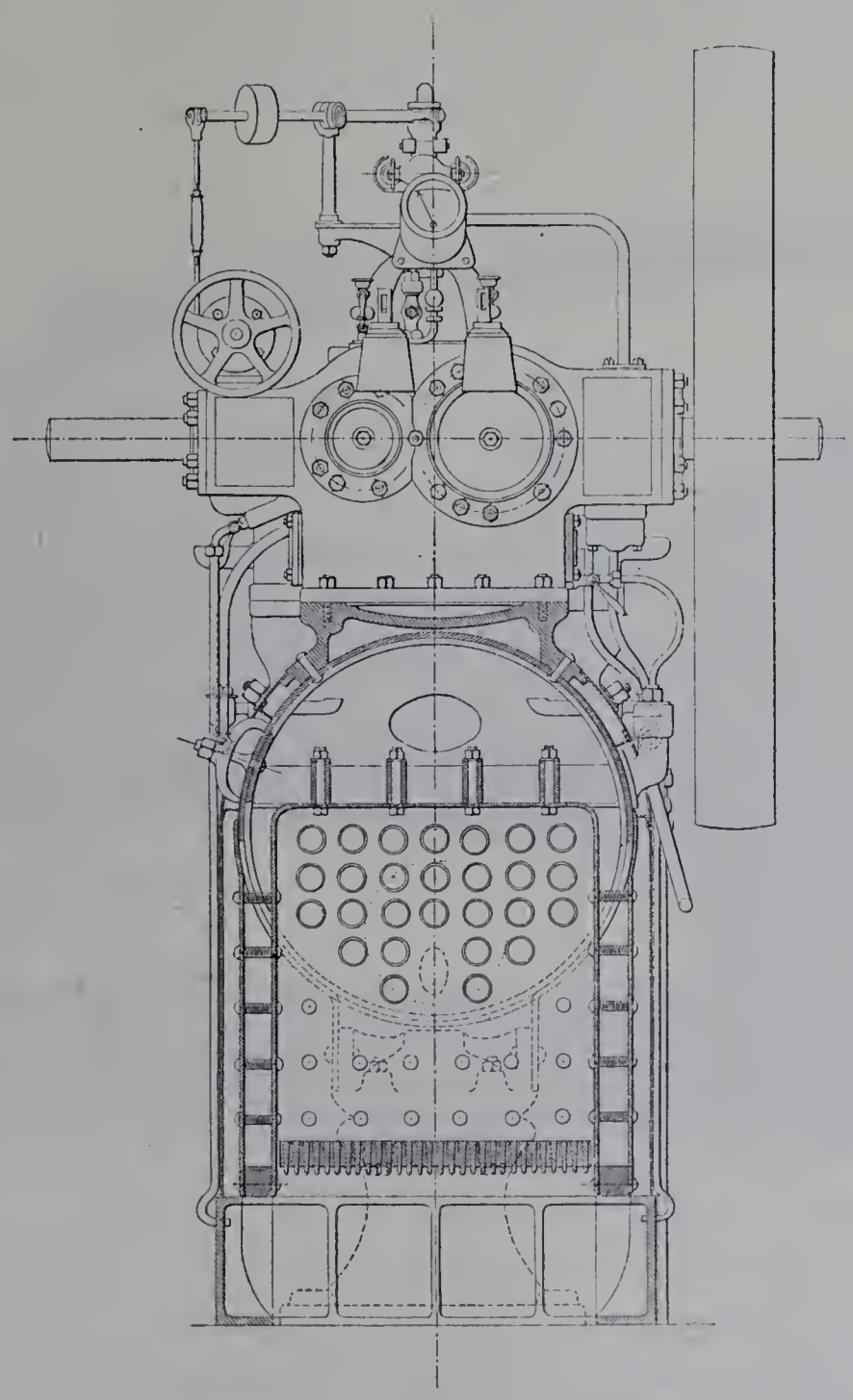


Fig. 669. — Coupe et élévation transversale.

de fabrication nouveaux et intéressants, par l'une des maisons françaises les plus anciennes et les plus réputées dans ce genre de construction, la maison Calla, aujourd'hui Chaligny et Cie. Dans les engins mi-fixes et locomobiles que construisent actuellement MM. Chaligny, le foyer est entièrement soudé; l'eau d'alimentation est injectée dans la vapeur, afin de précipiter les dépôts sous forme pulvérulente, en même temps que des dispositions spéciales sont prises pour l'évacuation des boues en cours de fonctionne-

ment; la double expansion, avec réchauffage du *receiver* par de la vapeur vive, est mise en œuvre toutes les fois que l'importance de la machine le comporte.

Le spécimen exposé est une machine mi-fixe compound, développant 28 chevaux à 150 tours par minute. Le générateur présente 13 m² 50 de surface de chauffe et 0 m² 41 de surface de grille $\left(\frac{S}{G} = 33\right)$; les figures 668 et 669 en font comprendre les dispositions principales; on remarquera notamment sur la figure 668, au bas du corps cylindrique, une tôle formant barrage pour empêcher les boues d'accéder aux lames d'eau de la boîte à feu et, à 50 centimètres de ce barrage, la tubulure pendentive

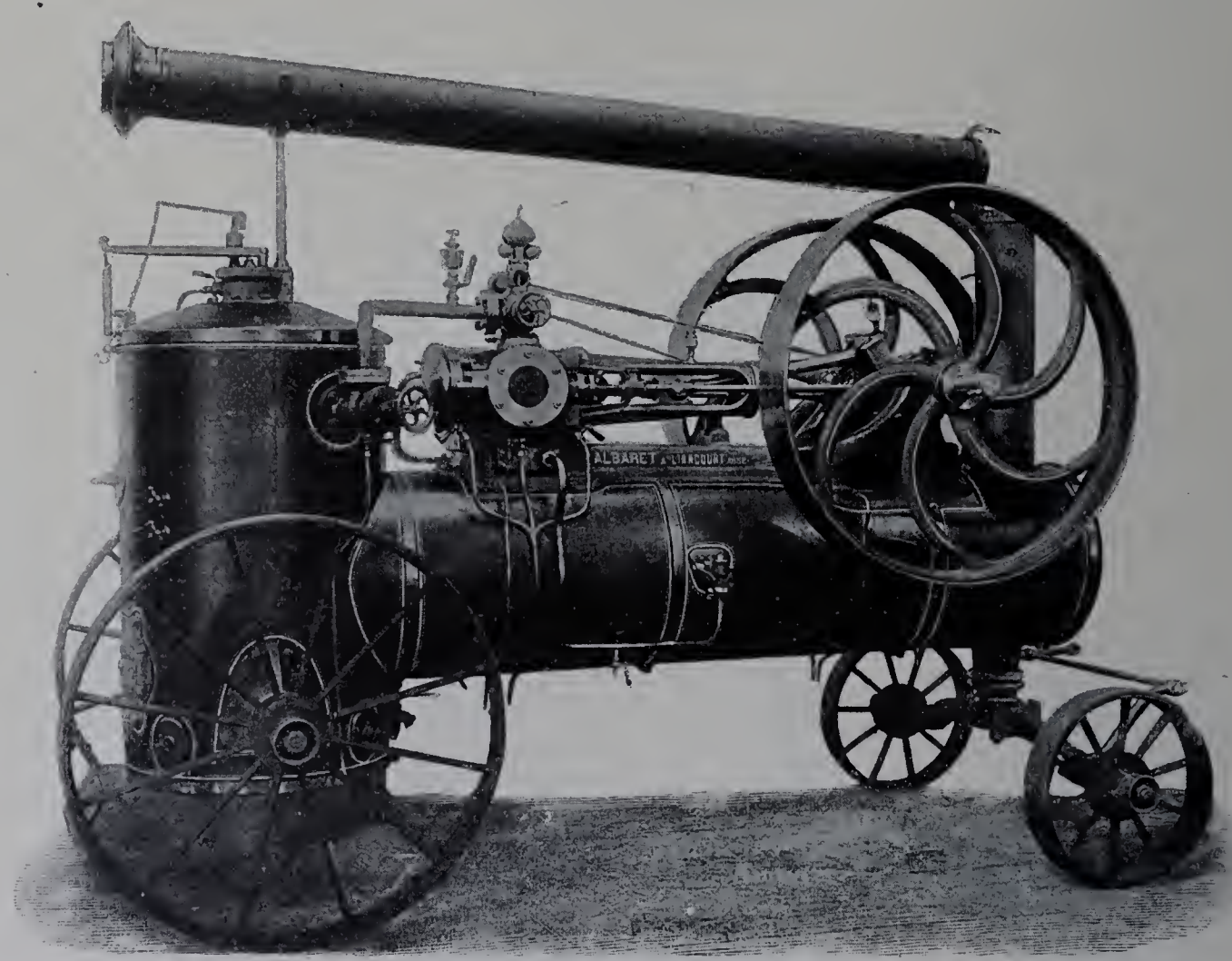


Fig. 670. — Locomobile de la maison Albaret.

et le robinet de vidage destinés à les extraire. Le mécanisme est porté par un bâti robuste, à glissières cylindriques, assujetti au moyen de boulons sur une pièce d'assise portée par la chaudière. La vapeur passe de celle-ci, par deux courtes tubulures en cuivre de 45 millimètres de diamètre, dans une pièce formant à la fois dôme collecteur et enveloppe des cylindres. Le réservoir intermédiaire est en partie constitué par un faisceau de tubes en laiton de 28 millimètres de diamètre, plongés dans la vapeur à la base de ce dôme.

Les cylindres mesurent 0 m. 165 et 0 m. 260 de diamètre, ce qui donne 2,5 pour rapport de leurs sections. La course étant de 0 m. 36, la vitesse linéaire des pistons a pour valeur moyenne 1 m. 80 par seconde. Les manivelles sont à 90 degrés. La distri-

bution est donnée, de chaque côté, par un tiroir plan. Le degré d'admission au petit cylindre est réglable à la main et peut-être modifié dans de larges limites, de 1/10 à 6/10 : à cet effet, l'excentrique est évidé et articulé excentriquement sur un premier plateau calé sur l'arbre; les excentricités sont réglées de manière que l'avance linéaire conserve sensiblement même valeur, quelle que soit la position relative des deux pièces dans laquelle on immobilise l'articulation. Au grand cylindre, l'admission est de 50 p. 100. Le régulateur à force centrifuge opère par étranglement de l'arrivée de vapeur : l'organe placé sous son action est une soupape équilibrée, qui fait suite à la soupape à main de mise en mouvement.

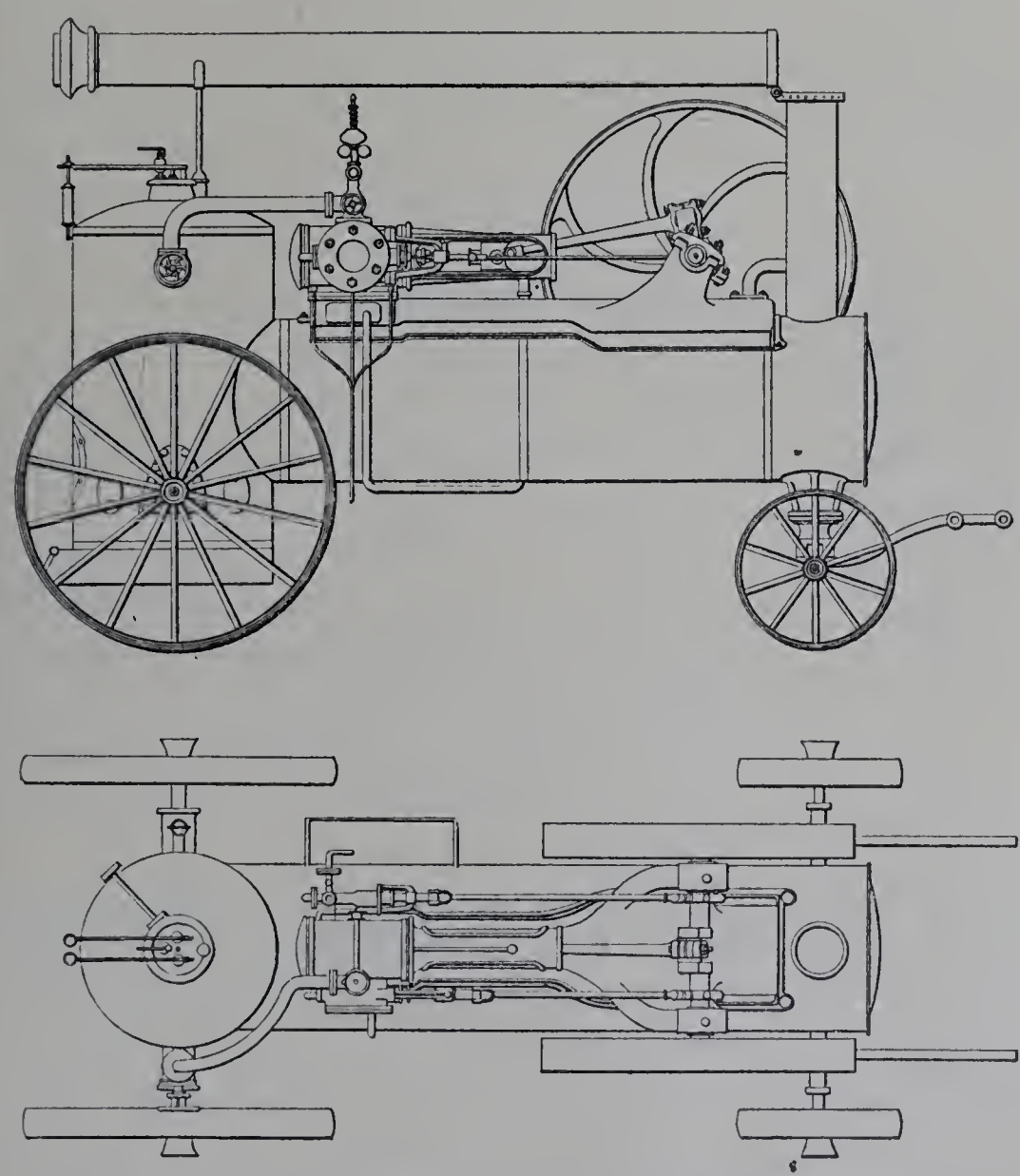


Fig. 671. — Locomobile de la maison Albaret. — Elévation longitudinale et plan.

La vapeur d'échappement, pour se rendre du grand cylindre à la cheminée, passe par un canal ménagé dans le bâti. Ce canal est traversé par six tubes de laiton de 3 centimètres de diamètre intérieur, reliés en série de manière à former un serpentin que parcourt l'eau refoulée par la pompe alimentaire.

Dans la construction des appareils de petites dimensions, tels que les locomobiles destinées principalement à l'agriculture, la chaudière à flamme directe est assez géné-

ralement établie avec un foyer de forme cylindrique à axe vertical environnant le foyer, dont il reproduit à peu près la forme avec un diamètre plus grand et surtout plus de hauteur, et d'un corps cylindrique horizontal, greffé latéralement sur le premier et renfermant le faisceau des tubes à fumée ; c'est la disposition dite en ⊢ .

On retrouve, comme constructeurs de locomobiles à flamme directe, plusieurs des exposants déjà signalés à propos des machines mi-fixes à retour de flamme, notamment parmi les maisons qui s'occupent de matériel agricole : telles sont la Société française de Vierzon, la maison Albaret, etc. Celle-ci, par exemple, expose une locomobile de 6 chevaux dont les fig. 670 à 672 indiquent les dispositions. La chaudière est du type ⊢ ; le constructeur s'est attaché à en calculer largement la surface de chauffe, afin d'éviter le surmenage et d'assurer, dans la mesure du possible, un bon rendement. Le bâti est à glissière cylindrique; l'arbre est porté par des paliers inclinés, à coussinets de bronze phosphoreux. Le tiroir de distribution est circulaire et peut tourner librement dans son collier : cette disposition a pour but de rendre le rodage plus uniforme. Le degré de détente est réglable à la main, par modification du calage de l'excentrique. Un régulateur à grande vitesse agit par étranglement de l'arrivée de vapeur. L'embase du bâti renferme un réchauffeur d'eau d'alimentation par la vapeur d'échappement. La locomobile est montée sur de robustes roues en fer; celles de l'avant-train peuvent passer sous la chaudière, de manière à assurer à l'engin toute facilité d'évolution.

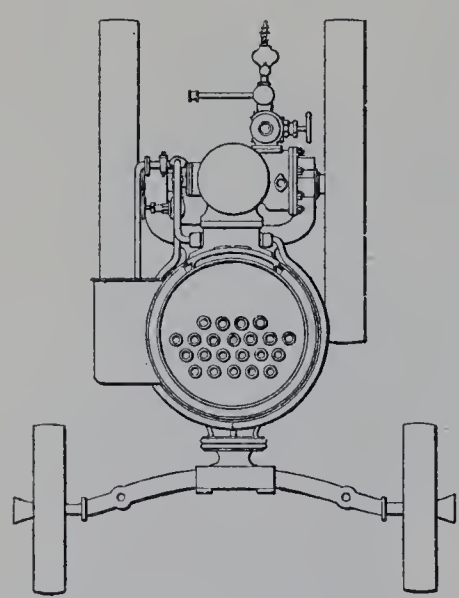


Fig. 672. — Coupe et élévation transversale.

La Grande-Bretagne possède d'importants établissements de construction de matériel agricole et industriel, où se fabriquent en grand nombre des machines horizontales locomobiles et mi-fixes, avec chaudières du type locomotive.

C'est ainsi que MM. Richard Garrett et fils exposent une machine mi-fixe à double expansion, d'une puissance de 50 à 65 chevaux effectifs, et une locomobile monocylindrique de 18 à 24 chevaux. Les chaudières de ces appareils sont en tôles d'acier doux Siemens-Martin, avec le foyer rectangulaire à ciel ondulé, sans fermes ni tirants de suspension, qui constitue depuis vingt ans une spécialité de la maison. Pour la machine mi-fixe, la surface de chauffe est de 36 mètres carrés; la surface de grille, 1 mètre carré; la pression de vapeur, 10 kilogrammes par centimètre carré. Les dimensions du foyer permettent d'employer à volonté la houille ou le bois pour combustible. La vitesse de rotation est de 130 tours par minute; les cylindres mesurent 248 et 368 millimètres d'alésage, avec 406 millimètres de course; ils sont juxtaposés et forment, avec leur enveloppe, un bloc reposant sur le berceau de la boîte à feu par un piétement boulonné. Un autre piétement, fixé sur la partie antérieure du corps cylindrique, sert de base aux trois paliers dans lesquels tourne l'arbre coudé. Les glissières sont cylindriques; un chevalet, qui prend également son appui sur la chaudière, en

supporte la réaction verticale. L'arbre coudé, en acier Siemens-Martin, de 127 millimètres de diamètre, entraîne deux volants mesurant 1 m. 68 de diamètre et 0 m. 30 de largeur à la jante. La distribution est du système Rider et placée sous la dépendance d'un régulateur de Proell.

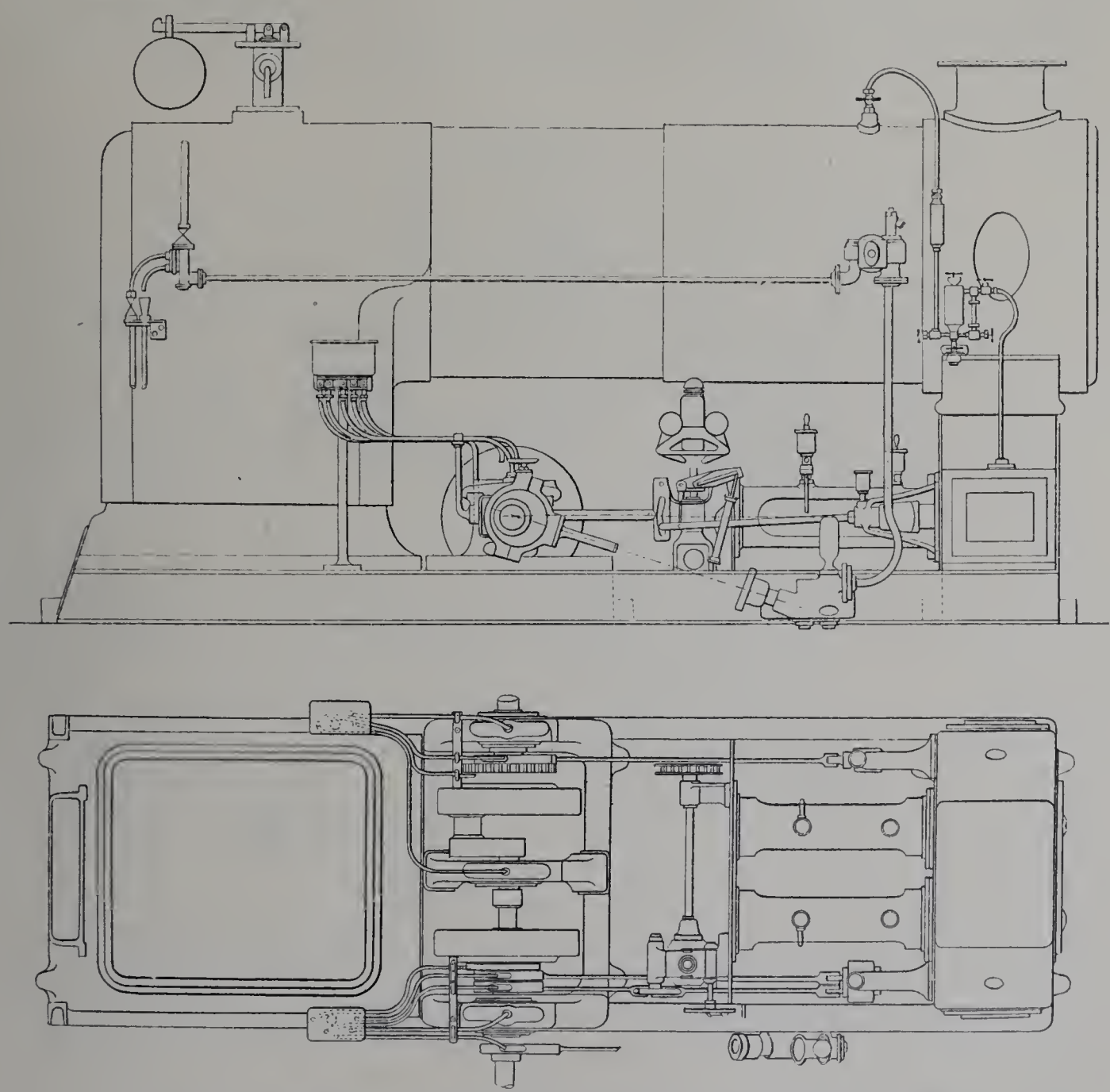


Fig. 673. — Machine compound de 24 chevaux effectifs, avec chaudière au-dessus. (MM. Marshall fils et Cie.)

La locomobile de 18 à 24 chevaux a une chaudière de 14 mètres carrés de surface de chauffe, 0 m² 45 de surface de grille, fournissant la vapeur sous la pression de 8 kilogrammes par centimètre carré, et un cylindre de 235 millimètres d'alésage et 305 millimètres de course; le moteur tourne à 150 tours par minute, entraînant un volant de 1 m. 52 de diamètre; la régularisation automatique de la vitesse est obtenue par étranglement de l'arrivée de vapeur, au moyen d'un régulateur à ressorts agissant directement sur une soupape équilibrée (système Pickering).

MM. Marshall fils et Cie exposent deux mi-fixes compound de 24 chevaux et une

locomobile de 15 chevaux. L'une des machines compound est représentée par la fig. 673 : on remarquera la disposition qui consiste à asseoir le mécanisme sur une plaque de fondation au niveau du sol, dans les meilleures conditions de stabilité, et à placer la chaudière au-dessus, entièrement indépendante du bâti du moteur. Les cylindres, juxtaposés et venus de fonte ensemble, mesurent 140 et 229 millimètres de diamètre; la course est de 305 millimètres. La pression de vapeur est de 10 kilogrammes par

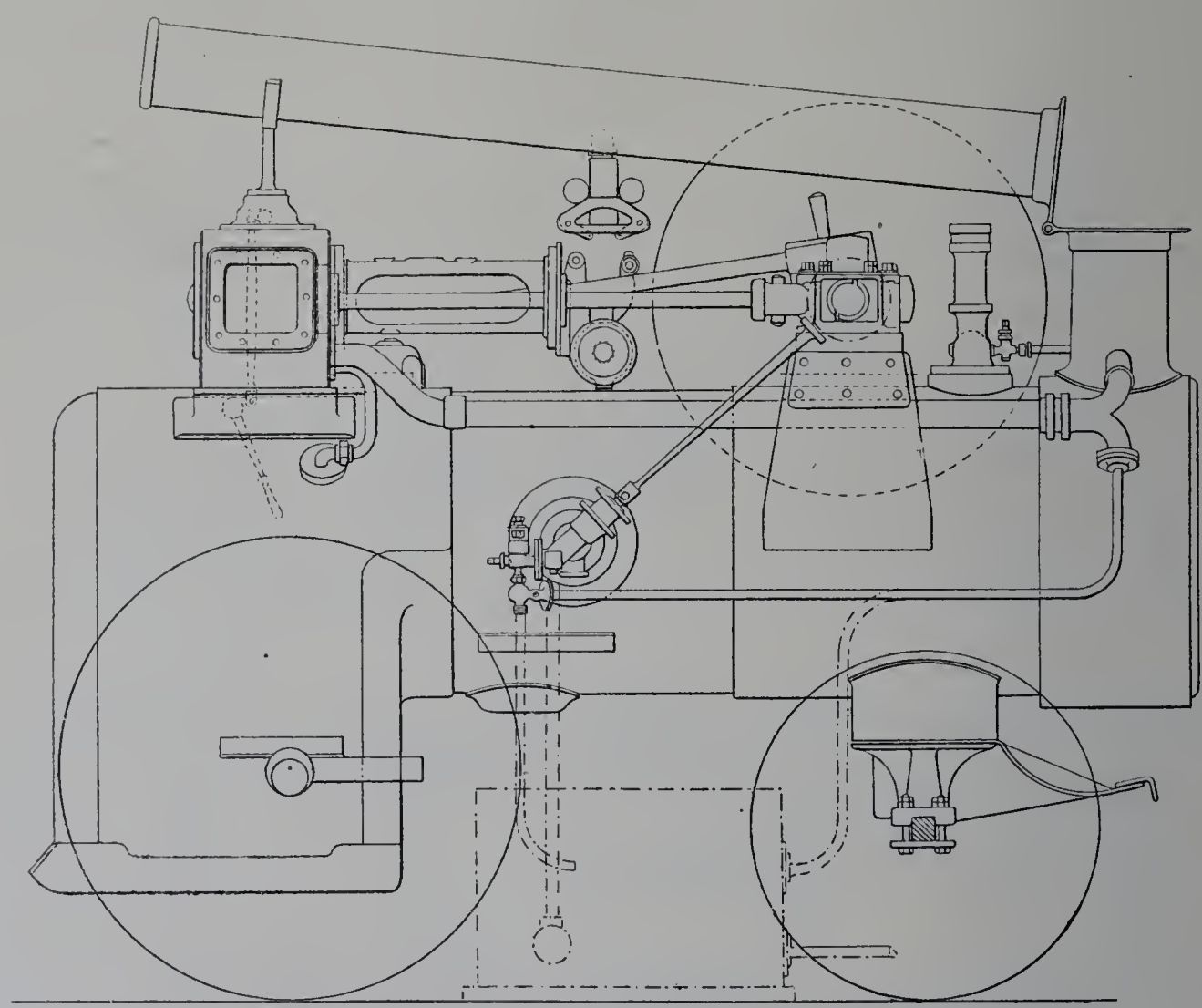


Fig. 674. — Locomobile compound de 24 chevaux effectifs, de MM. Marshall fils et Cie. Elévation longitudinale.

centimètre carré et la vitesse angulaire de 180 tours par minute. Les cylindres sont à enveloppe de vapeur. La distribution est donnée du côté de la haute pression par deux tiroirs superposés et la réglementation du tiroir de détente est variable au moyen d'une coulisse placée sous la dépendance d'un régulateur à force centrifuge (système Hartnell).

L'autre machine compound des mêmes constructeurs a, suivant la disposition ordinaire, son mécanisme porté par la chaudière : c'est le type indiqué par les figures 674 et 675, sauf que ces dessins représentent une locomobile montée sur roues, tandis que la machine exposée est présentée sans roues, comme appareil mi-fixe. Les dispositions générales du mécanisme sont les mêmes que dans la machine précédente, ainsi que les dimensions; toutefois la course des pistons est moindre : 254 millimètres au lieu de 305.

Quant à la locomobile de 15 chevaux, sa chaudière fournit la vapeur sous la pression de 7 kilogrammes; le cylindre, à enveloppe de vapeur, a 197 millimètres de diamètre, et le piston 305 millimètres de course; la vitesse de rotation est de 136 tours. La distribution est à tiroir simple. Un régulateur à bielles croisées agit sur un papillon d'étranglement.

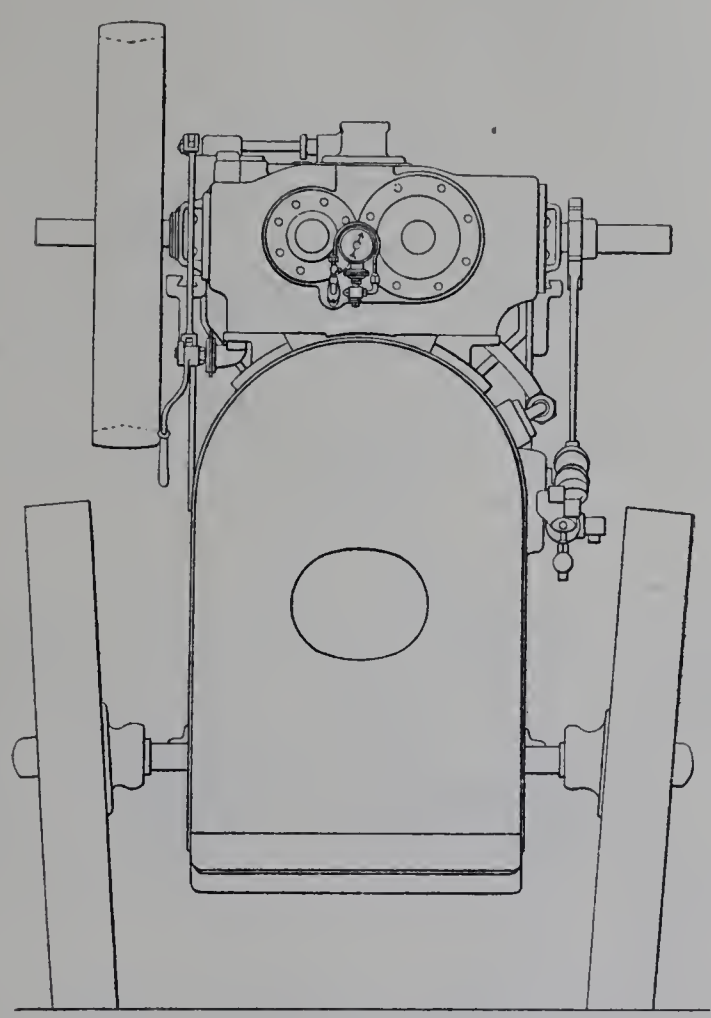


Fig. 675. — Élévation transversale.

MM. Ruston, Proctor et Cie sont également constructeurs de locomobiles : la série de leurs types va de 4 à 100 chevaux. Ils n'ont mis à l'Exposition qu'un exemplaire de cette fabrication : c'est une machine de 20 à 25 chevaux, qui figure à la Classe 35. La chaudière, dont la surface de chauffe est 18 m² 80, porte un moteur monocylindrique de 279 millimètres d'alésage et 356 millimètres de course, établi pour la vitesse de 130 tours par minute. Le cylindre avec son enveloppe, le support de la glissière cylindrique et les paliers de l'arbre coudé sont boulonnés respectivement sur des sièges rivés à la chaudière et soigneusement rabotés. Afin de supporter, sans fatiguer les tôles du générateur, les efforts alternatifs d'extension et de compression longitudinale, une solide entretoise relie directement le cylindre aux paliers. Mais on fait en sorte que cette entretoise se dilate comme le générateur. A cet effet, elle est constituée par un tube en fer, dont une des extrémités communique avec l'enveloppe du cylindre, tandis que, du voisinage de l'autre extrémité, part un petit tuyau de cuivre descendant qui fait retour à la chaudière. De la sorte, le tube-entretoise est constamment rempli de vapeur vive et sa température est sensiblement égale à celle du corps cylindrique.

IMPRIMERIE NATIONALE.

MM. Ransomes, Sims et Jefferies exposent une locomobile de 24 chevaux à 145 tours par minute, dont la chaudière, de 16 mètres carrés de surface de chauffe et 0 m² 74 de surface de grille, a son foyer disposé, suivant le système Head et Schemioth, pour brûler de la paille ou d'autres matières végétales telles que les roseaux, les tiges de maïs, la canne à sucre. Deux rouleaux, disposés à l'entrée du foyer, saisissent ces matières fibreuses et les font avancer au fur et à mesure de la combustion. Durant la mise en pression, il faut actionner ces rouleaux à la main; mais ensuite leur rotation est assurée automatiquement par la machine elle-même, au moyen d'une courroie prenant son mouvement sur l'arbre moteur. L'intérieur du foyer présente des cloisons verticales formant chicanes, afin de brasser la flamme et de retenir les cendres légères et les particules de combustible. Le cylindre, à enveloppe de vapeur, mesure 254 millimètres de diamètre; la course du piston est 305 millimètres. Un régulateur à force centrifuge et à grande vitesse, avec manchon chargé par un ressort, agit sur une valve équilibrée qui se trouve interposée sur l'arrivée de vapeur, à l'amont du tiroir de distribution.

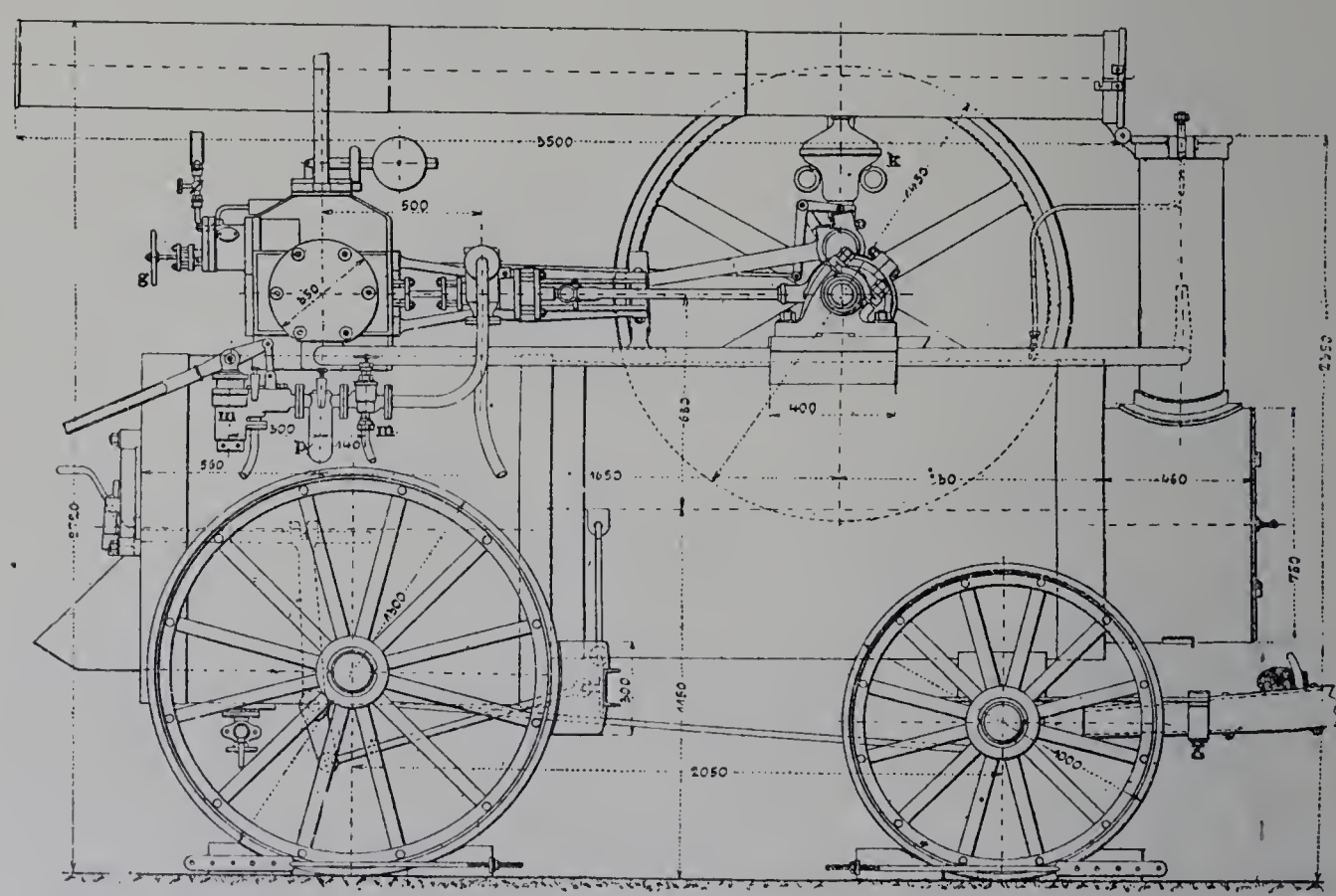


Fig. 676. — Locomobile de 15 chevaux, de M. R. Wolf. — Élévation longitudinale.

Dans la section allemande, la construction des locomobiles est représentée par plusieurs importantes maisons. Les puissantes machines mi-fixes, de M. R. Wolf et de M. H. Lanz, décrites au début de ce chapitre, ne sont que des spécimens particulièrement imposants d'une fabrication qui embrasse toute l'échelle des puissances. M. Wolf expose une locomobile de 15 chevaux dont les fig. 676 et 677 font voir les dispositions générales. Le générateur est du même système que celui de la grande machine : foyer cylindrique horizontal et tubes à fumée en prolongement, constituant un vaporisateur

assemblé aux extrémités du corps cylindrique par deux grands joints boulonnés. Le cylindre mesure 17 centimètres d'alésage et 30 centimètres de course; la vitesse de rotation est de 145 tours par minute.

MM. Garrett Smith et Cie, de Magdebourg, présentent une machine mi-fixe compound de 50 à 55 chevaux, dont la chaudière appartient au même type à foyer amovible. Comme dans les appareils mi-fixes des constructeurs précédents, les cylindres, juxtaposés, sont venus de fonte avec leur enveloppe qui forme dôme de prise de vapeur. L'arbre coudé tourne dans trois paliers supportés au-dessus de la chaudière par une selle en fonte, qui constitue pour la partie rotative du moteur un socle particulièrement massif. La distribution, du côté de la haute pression, est du système Rider et gouvernée par un régulateur de Proell. L'appareil est complété par un condenseur.

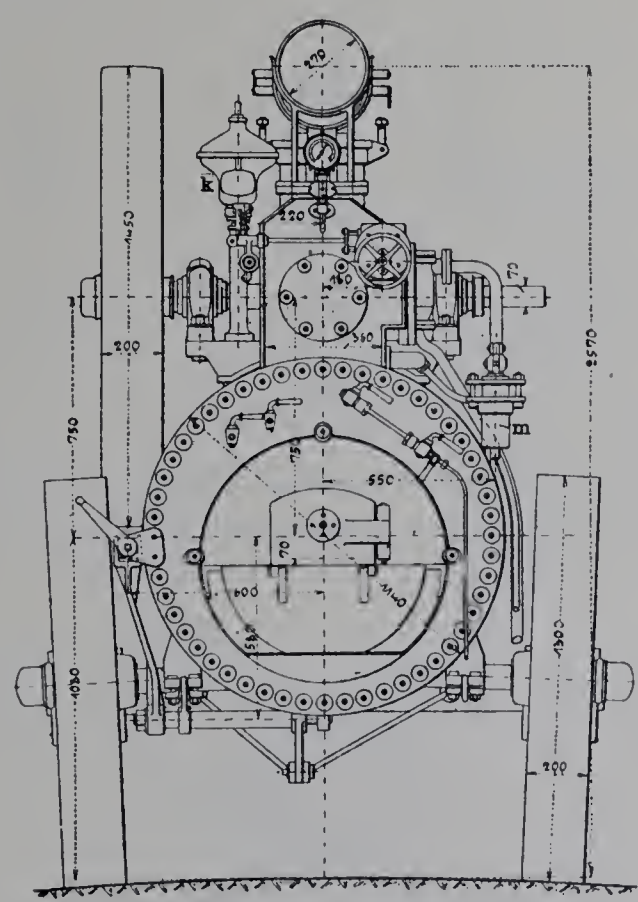


Fig. 677. — Élévation transversale.

L'exposition de MM. Garrett, Smith et Cie comprend aussi une locomobile de 20 à 25 chevaux, à un seul cylindre. La chaudière, du type locomotive, porte un mécanisme qui offre des dispositions analogues à celles de l'appareil mi-fixe : cylindre plongé dans la vapeur du dôme, paliers de l'arbre reposant sur un fort socle-selle en fonte, distribution à détente Rider variable au régulateur. Le cylindre et les paliers sont reliés par des tirants.

Parmi les exposants étrangers, constructeurs de locomobiles, signalons encore la Fabrique de machines des chemins de fer de l'État, à Budapest (Hongrie). Cet établissement, qui construit des machines pour l'industrie et notamment pour les travaux agricoles, expose une locomobile de 30 chevaux dont la disposition générale est repré-

sentée par les fig. 678 et 679. Le foyer est de grandes dimensions, afin de permettre l'emploi de combustibles de qualité inférieure. Il a son ciel en forme de berceau demi-cylindrique, avec raidissement par ondulation.

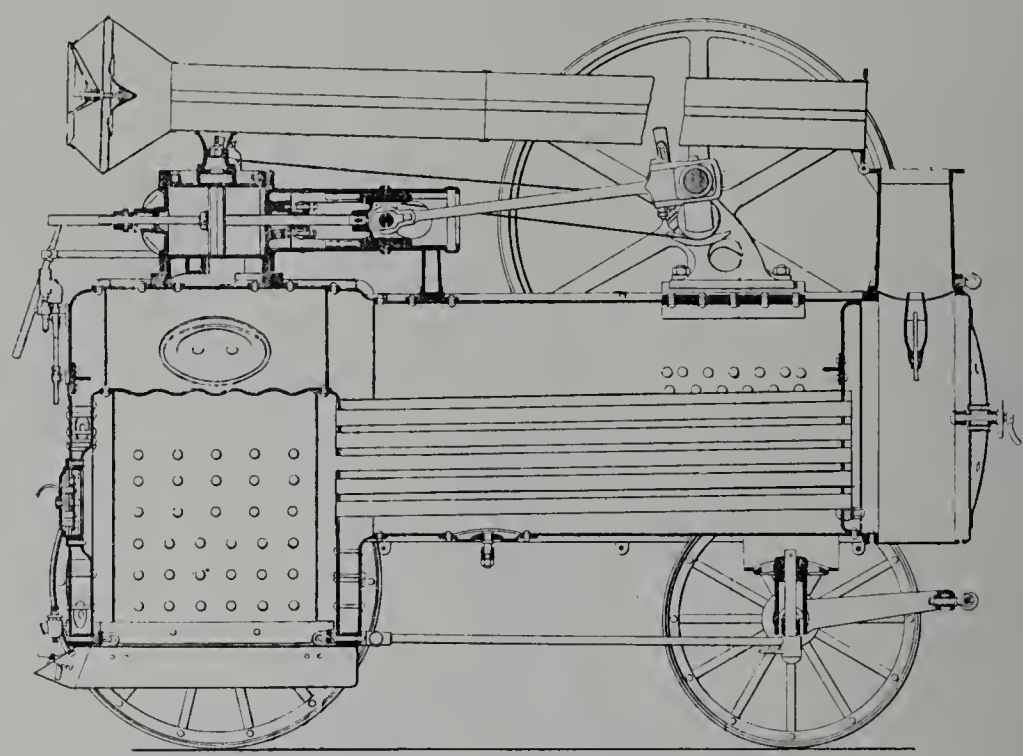


Fig. 678. — Locomobile de 30 chevaux, de la Fabrique de machines des chemins de fer de l'État hongrois.

Toutes les locomobiles, tant françaises qu'étrangères, dont il vient d'être parlé, sont munies de chaudières à foyer intérieur horizontales. Le type vertical est appliqué aussi

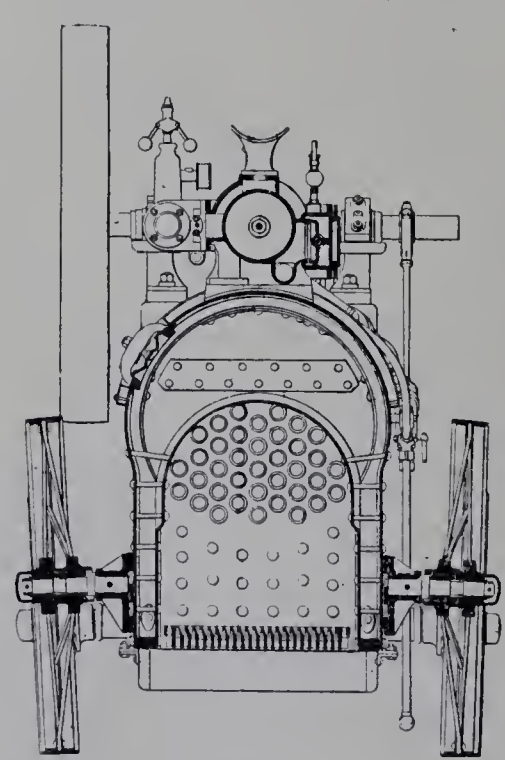


Fig. 679. — Coupe transversale.

aux appareils mobiles de faible puissance. Le mécanisme est juxtaposé au générateur et l'on obtient ainsi des engins particulièrement peu encombrants. La chaudière est tubu-

laire à flamme directe, ou bien son système de chauffage se compose simplement d'un foyer intérieur dans lequel pendent des tubes Field ou que traversent des bouilleurs croisés. La machine mi-fixe verticale, avec chaudière à bouilleurs croisés, a longtemps été une spécialité de la maison Hermann-Lachapelle. MM. H. Brûlé et Cie exposent un spécimen de ce type.

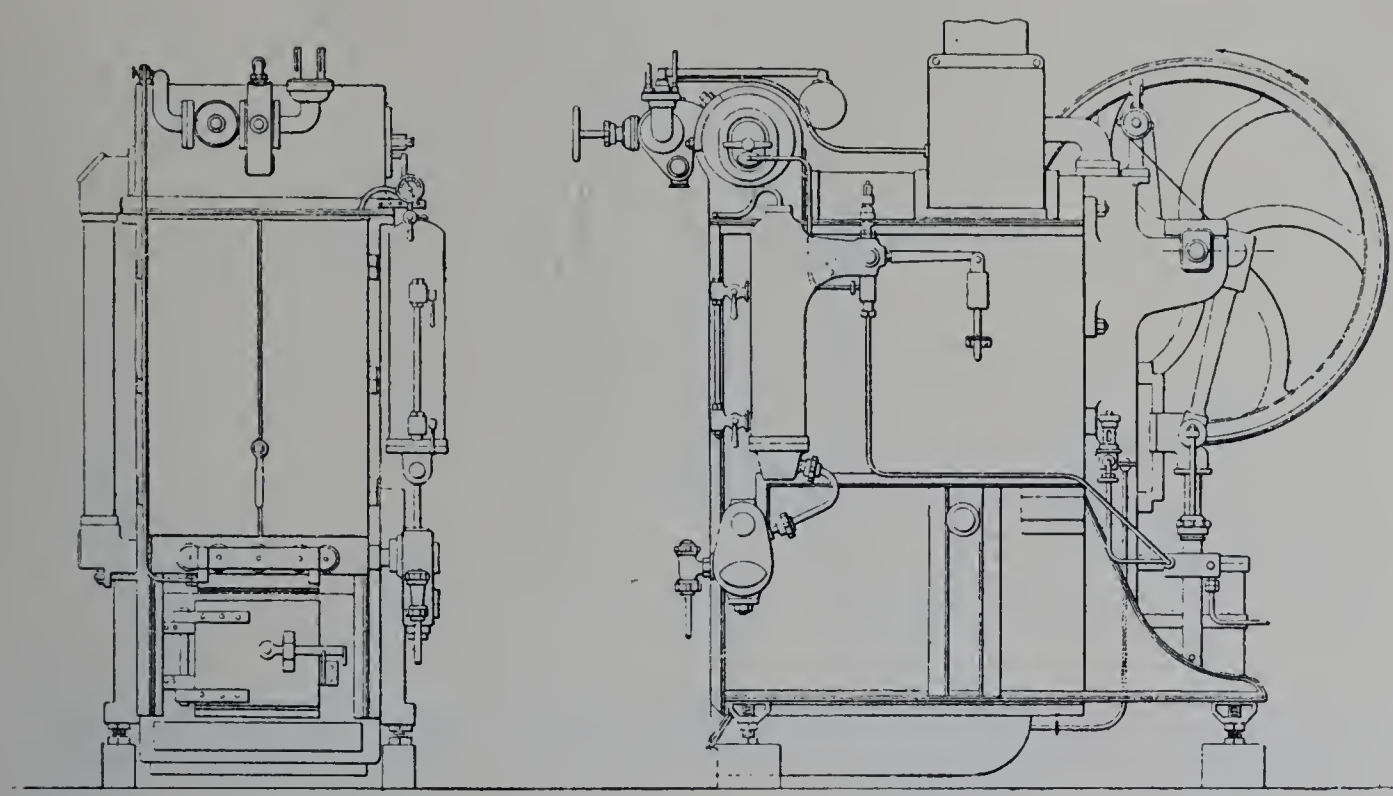


Fig. 680. — Machine mi-fixe Belleville de 12 chevaux. — Façade et élévation latérale.

Quant aux chaudières à foyer extérieur, elles ne semblent pas, *a priori*, se prêter à la constitution des machines mi-fixes ou locomobiles. Cependant plusieurs constructeurs de générateurs à tubes d'eau ont créé des ensembles transportables. MM. Delaunay-

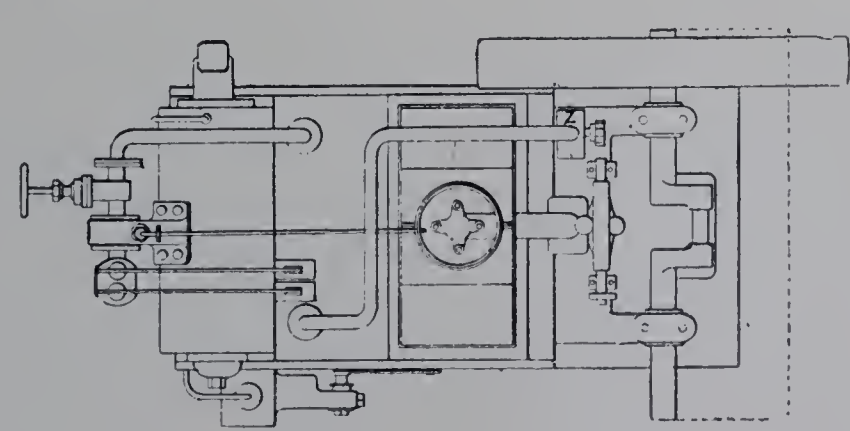


Fig. 681. — Plan.

Belleville et Cie exposent une machine mi-fixe de 12 chevaux, dont le générateur, jaugeant 270 litres, offre 11 m² 40 de surface de chauffe et environ 0 m² 40 de surface de grille (fig. 680 à 682). A la boîte contenant le faisceau vaporisateur est juxtaposé un moteur vertical monocylindrique, de 24 centimètres de diamètre et 20 centimètres

de course, tournant à 150 tours par minute. Ce moteur actionne un arbre coudé porté au-dessus de lui par deux paliers en encorbellement. L'appareil occupe un emplacement

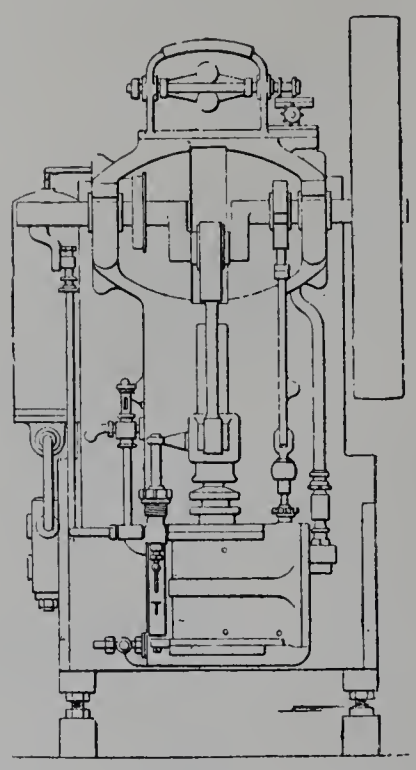


Fig. 682. — Élévation du mécanisme.

de 1 m. 10 × 1 m 70 environ, et est entièrement démontable en pièces d'un poids de 150 kilogrammes au maximum.

REMARQUES GÉNÉRALES

SUR LES MOTEURS INDUSTRIELS.

La machine à vapeur n'est pas, à l'heure actuelle, le seul moteur thermique ayant droit de cité dans l'industrie. La machine à gaz s'y fait d'année en année une plus large place, soit qu'on l'alimente au moyen de gazogènes spéciaux, soit qu'on utilise comme combustible un sous-produit de fabrication tel que le gaz des hauts fourneaux, soit que le mélange tonnant s'obtienne en carburant l'air au moyen du pétrole. Ce n'est pas ici le lieu de décrire les progrès réalisés par ce genre de moteurs, progrès dont témoigne l'exposition de la Classe 20. Mais nous devons nous demander quelle position occupe actuellement la machine à foyer, objet de notre étude, vis-à-vis de sa concurrente à combustion intérieure.

Cette position reste extrêmement prédominante. La machine à vapeur est incomparable comme universalité d'emploi. Son foyer s'accommode des combustibles les plus divers. Sa puissance, sa vitesse de rotation varient dans les limites les plus étendues. Son démarrage est remarquablement facile. S'agit-il de faire tourner l'arbre d'une dynamo à courant continu ou d'un alternateur, la constance de sa vitesse, la précision de

sa régulation satisfont à toutes les exigences des électriciens. S'agit-il d'actionner directement des engins de traction ou de levage, des laminoirs, des machines-outils, le moteur à vapeur déploie une merveilleuse souplesse d'allure; il s'arrête, repart, change de sens et, si grande que puisse être sa puissance, obéit avec une docilité admirable à son appareil de changement de marche.

La machine à combustion intérieure n'est pas en état de souscrire si aisément à tous les programmes. Chaque gazogène ne s'accomode en général que d'un combustible bien déterminé. Le démarrage des moteurs doit se faire à vide et ne va pas toujours sans complication. Le fonctionnement à quatre temps, qui reste presque exclusivement usité, nécessite des appareils relativement volumineux et des volants de grande masse, dont la réserve d'énergie ne procure qu'avec peine la régularité nécessaire à certaines applications.

Sous le rapport de la sécurité, la machine à vapeur a une infirmité sérieuse : c'est le danger d'explosion du générateur. Les progrès de l'art, la diffusion des connaissances techniques et les interventions d'État ont réduit ce danger, ainsi que nous l'avons vu, dans une proportion très notable, mais sans toutefois le supprimer. Les machines à combustion intérieure n'offrent pas de risque analogue; par contre, dans la production et la canalisation du gaz combustible, de grandes précautions sont à prendre, en raison de la toxicité de l'oxyde de carbone.

Au sujet de l'économie, il faut distinguer. Scientifiquement parlant, c'est-à-dire à ne considérer que le rendement thermo-dynamique, point d'hésitation : la machine à vapeur est dans un état d'infériorité manifeste. On se l'explique facilement : tandis que, dans un moteur à combustion intérieure, l'agent qui fournit l'énergie, c'est-à-dire le mélange du combustible et du comburant, sert lui-même après sa transformation chimique à travailler mécaniquement, la machine à vapeur emploie un intermédiaire entre l'agent calorifique et le récepteur mécanique, à savoir l'eau et la vapeur. Cet intermédiaire ne recueille qu'imparfaitement la chaleur de la combustion; de plus, il évolue suivant un cycle dont le coefficient économique ne peut être très élevé, à cause des limites pratiquement imposées à ses températures extrêmes. La surchauffe, il est vrai, permet de reculer la limite supérieure, et c'est pourquoi son emploi constitue un progrès si intéressant; néanmoins, la machine à vapeur ne saurait, sur ce terrain, soutenir la comparaison. C'est ainsi qu'elle ne devrait pas brûler, par cheval-heure *effectif*, plus de 400 grammes de houille brute à 8,000 calories par kilogramme, pour avoir même rendement que les moteurs alimentés au gaz de haut fourneau, dont M. Aimé Witz cite les essais dans son rapport au Congrès international de mécanique appliquée, moteurs qui consomment en moyenne, par cheval-vapeur effectif, 3,300 litres de gaz à 980 calories par mètre cube, c'est-à-dire fournissent le cheval-heure effectif en échange de 3,200 calories. Bien plus, si l'on prend pour terme de comparaison la consommation minimum du moteur à pétrole dont M. R. Diesel a entretenu le même Congrès, consommation qui s'est abaissée, pour une puissance de 33 chevaux environ, à 223 gr. 3 de naphte brut de Russie ou à 208 grammes de pétrole lampant de Roumanie par cheval-

heure effectif, il faudrait, pour constituer l'équivalent thermo-dynamique de ce moteur Diesel, une machine à vapeur ne brûlant par cheval-heure effectif que moins de 300 grammes de houille brute.

Mais l'industriel ne se paye pas de théorie. C'est le prix de revient qui l'intéresse. Or 223 grammes d'un pétrole ayant une densité comprise entre 0,8 et 0,9 et valant 0 fr. 25 le litre coûtent plus cher que 2 kilogrammes de houille à 30 francs la tonne. D'une manière générale, en France et dans les pays voisins, la machine à vapeur, avec générateur chauffé à la houille, est plus coûteuse comme dépense courante de combustible qu'un moteur à gaz alimenté dans de bonnes conditions au moyen d'un gazogène; mais elle est plus économique que tout moteur à pétrole.

Il va sans dire que, pour une comparaison précise, il faudrait faire entrer en ligne de compte divers autres éléments, variables suivant la nature des applications et l'espèce des appareils : coût d'établissement, frais d'entretien et d'amortissement, main-d'œuvre, supplément de combustible nécessité par les mises en train, dépenses d'eau, de lubrifiant, etc.

En définitive, soit pour les très grandes puissances, soit pour les travaux qui réclament une régularité extrême ou une parfaite souplesse, la machine à vapeur demeure, jusqu'à présent, entièrement maîtresse du terrain. Les moteurs à combustion intérieure alimentés par des gazogènes sont surtout à même de rendre de bons services lorsqu'il s'agit de développer, en régime prolongé, une puissance moyenne avec une régularité d'ordre constant; dans ce domaine, où ils se recommandent par l'économie de combustible qu'ils peuvent procurer, ils étendent, quoique avec lenteur, le champ de leurs applications.

Un emploi spécial, qui a pris naissance vers 1894 et qui a, depuis lors, suscité un vif intérêt, consiste à utiliser directement dans des moteurs de cette classe le gaz des hauts fourneaux, au lieu de le brûler dans des foyers de chaudières à vapeur. On accroît ainsi la production du travail mécanique dans le rapport des rendements thermo-dynamiques des deux systèmes. Cette solution, qui a provoqué la construction de moteurs à gaz d'une puissance précédemment inusitée, soulève diverses questions sur lesquelles l'expérience n'a pas encore dit son dernier mot.

Pour la production des petites puissances, jusqu'à quelques dizaines de chevaux, les moteurs à combustion intérieure, alimentés soit au gaz de ville, soit aux hydrocarbures liquides, sont d'un emploi tout à fait pratique. Ils sont toujours prêts à servir, sans dépense de mise en train. Sous la vive impulsion résultant du développement de la locomotion automobile, la construction des moteurs à essence de pétrole est l'objet de perfectionnements incessants; leur sûreté de fonctionnement et leur souplesse ont fait les plus remarquables progrès. L'essence de pétrole, à la vérité, est un combustible de luxe; mais on commence à savoir lui substituer dans de bonnes conditions le pétrole lampant. Dans l'ordre des applications industrielles, pour la production de la force motrice des petits ateliers, pour bon nombre des travaux auxquels sont employés les appareils mi-fixes ou locomobiles, la machine à vapeur aurait franchement à céder le pas

aux moteurs de ce genre, n'était le prix élevé du combustible gazeux ou liquide. On y gagnerait la suppression du risque afférent au générateur de vapeur : cette considération rend la substitution désirable dans les milieux où celui-ci n'est pas toujours l'objet des soins qui conviendraient, dans les milieux agricoles par exemple.

Qu'ils soient à vapeur ou à combustion interne, les moteurs thermiques ne possèdent plus aujourd'hui, d'une façon aussi exclusive que précédemment, le monopole de la production de la puissance motrice industrielle. Grâce aux ressources que fournit l'électricité pour le transport et la distribution de l'énergie, l'utilisation des chutes d'eau prend une extension grandissante. Des perfectionnements de premier ordre, apportés à la construction et à l'établissement des récepteurs hydrauliques, procèdent de ce mouvement et le précipitent : telles sont les innovations relatives à la régularisation de la vitesse des turbines, appelées à fournir une puissance variable aux machines électriques qu'elles commandent directement; tels sont les dispositifs automatiques gouvernant la pression et mettant l'emploi des hautes chutes à l'abri du danger des coups de bélier.

C'est encore à la Classe 20 qu'il faut renvoyer le visiteur de l'Exposition désireux de constater ces progrès.

TABLE DES FIGURES.

Figures. Pages.

1. Abaque des consommations théoriques d'un moteur à vapeur saturée fonctionnant suivant le cycle de Rankine 11
2 et 3. Révélateur de Bryan Donkin 12
4. Exemple du fonctionnement thermodynamique d'une machine à vapeur consommant 1 kilogramme de houille brute par cheval-heure effectif 15
5. Vue générale de la galerie des groupes électrogènes, section française 22
6. Vue générale de la galerie des groupes électrogènes, sections étrangères 23
7. Emplacements de la section française. — Rez-de-chaussée. Échelle : 1/1600e 26
8. Emplacements de la section française. — Étage. Échelle : 1/1600e 27
9. Vue d'une partie de la section suisse (machines Sulzer) 29
10. Plan de l'extrémité Est de l'usine La Bourdonnais et du raccordement des galeries de fumée avec la cheminée de 80 mètres. — Échelle : 1/400e 32
11. Coupe transversale de l'un des hangars (usine La Bourdonnais ou Suffren). — Échelle : 1/400e 33
12. Coupe longitudinale partielle de l'un des hangars (usine La Bourdonnais ou Suffren). — Échelle : 1/400e 33
13. Vue prise dans l'usine La Bourdonnais (extrémité Est) 34
14. Canalisation générale de vapeur. — Jonction par bague bi-conique 35
15. Récipient collecteur de vapeur. — Coupe longitudinale 36
16. Coupe transversale 36
17. Plan d'ensemble des canalisations générales de vapeur, côté La Bourdonnais. — Échelle : 1/2000e 37
18. Demi-coupe d'une galerie souterraine, montrant une conduite de vapeur et une conduite d'eau 38
19. Suspension de deux conduites de vapeur à la voûte d'une galerie souterraine 38
20. Coupe transversale d'une galerie souterraine du plus grand modèle, avec branchement desservant un groupe électrogène 39
21. Armature de trou d'homme. (Fitzner et Gamper.) — Coupe en travers 46
22. Coupe en long 46
23. Foyers ondulés de la Deighton Ce. — Forme de l'ondulation 47
24. Installation pour l'épreuve hydraulique 47
25. Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur. — Accroissement, de 1872 à à 1898, du nombre des associés et de celui des chaudières inscrites 50
26. Visites intérieures et extérieures effectuées chaque année, de 1874 à 1898 51
27. Chaudière semi-tubulaire de 235 mètres carrés de surface de chauffe (MM. Meunier et Cie). 54
28. Coupe par AB de la figure 27 55
29. Chaudière semi-tubulaire de 200 mètres carrés. (MM. Meunier et Cie.) 55
30. Coupe par MN de la figure 29 56
31. Tube Berendorf et tube-tirant. (MM. Meunier et Cie.) 57
32. Générateur semi-tubulaire de la Compagnie de Fives-Lille 58
33. Générateur semi-tubulaire, système Roser. — Coupe longitudinale 59
34. Élévation et coupe transversales 60
35. Générateur semi-tubulaire, système Montupet. — Coupe longitudinale 61

36. Coupe transversale. 62
37. Système de chauffage intérieur d'une chaudière Galloway. 64
38. Chaudière Galloway. — Élévation longitudinale avec coupe axiale sur les carneaux de maçonnerie. 65
39. Coupe transversale par les tubes-foyers. 66
40. Coupe transversale par le carneau intérieur. 66
41 et 42. Chaudière à deux foyers intérieurs (Établissements Jacques Piedbœuf). 67
43 et 44. Coupe d'une virole de tube-foyer. (Fitzner et Gamper). 68
45. Forme des ondulations d'un tube-foyer. (Fitzner et Gamper). 68
46. Chaudière à trois foyers intérieurs. (M. E. Berninghaus.) — Coupe longitudinale. 69
47. Façade. 70
48. Groupe de deux chaudières jumelles. (Pancksch.) — Coupe longitudinale de l'une d'elles. 71
49. Coupe transversale. 72
50. Chaudière à deux corps, système Tischbein. (M. E. Berninghaus.) — Coupe longitudinale. 74
51. Coupe transversale. 75
52. Élévation. 75
53. Chaudière à deux corps, système Tischbein. (MM. Petzold et Cie.) — Coupe longitudinale. 76
54. Coupe transversale. 77
55 et 56. Chaudière horizontale, tubulaire, à flamme directe, de MM. Meunier et Cie. 78
57. Expérience de M. Solignac. 82
58. Chaudière Belleville. 85
59. Chaudière Belleville avec économiseur; type fixe, modèle B-8. — Coupe longitudinale. . . 86
60. Plan. 87
61. Coupe transversale. 88
62. Vue de face. 89
63. Épurateur Belleville, type fixe. — Coupe transversale. 90
64. Coupe longitudinale. 90
65. Régulateur d'alimentation de la chaudière Belleville. — Coupe de la bouteille de niveau et de la soupape à commande automatique. 91
66. Vue de face de la bouteille de niveau et coupe de la soupape à main. 92
67. Chaudière Belleville. — Commande automatique du registre. 92
68. Constitution d'une fourche de générateur Belleville. — Coupe par ABCD de la figure 69. 93
69. Coupe par MN de la figure 68. 93
70. Coupe par FGEL de la figure 69. 94
71. Autoclave sur une boîte de raccord (générateur Belleville). 94
72. Chaudière Babcock et Wilcox. — Coupe longitudinale. 98
73. Coupe transversale. 99
74. Autoclave de trou de poing, avec croisillon extérieur. (Babcock et Wilcox.). 100
75. Autoclave de trou de poing, avec contre-tampon extérieur. (Babcock et Wilcox.). 100
76. Dudgeon. 100
77. Sertissage d'un tube vaporisateur. 100
78. Sertissage d'un tube de raccord sur un collecteur ondulé. 101
79. Sertissage d'un tube de raccord sur le collecteur de dépôts. 101
80. Chaudière Babcock et Wilcox de 300 mètres carrés de surface de chauffe. — Coupe longitudinale. 102
81. Coupe transversale et élévation. 103
82. Chaudière Babcock et Wilcox à réservoir transversal. 104
83. Chaudière Roser. — Coupe longitudinale. 106
84. Plan. 106

85. Coupe suivant CDEFGH de la figure 83 107
86. Assemblage d'un collecteur vertical A avec le réservoir d'eau et de vapeur 107
87. Assemblage d'un collecteur vertical A avec le collecteur de dépôts 107
88. Chaudière Steinmüller. — Coupe longitudinale 110
89. Élévation 110
90. Chaudière Simonis et Lanz 111
91. Chaudière Petry-Dereux. — Coupe longitudinale 112
92. Coupe horizontale 113
93. Élévation 113
94. Chaudière à tubes d'eau Fitzner et Gamper. — Coupe longitudinale 114
95. Coupes transversales 114
96. Chaudière Büttner. (Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie.) — Coupe longitunale 116
97. Coupe transversale 116
98. Chaudière Mathot 117
99. Système de Naeyer. — Boîte d'élément 118
100. Pot double faisant communiquer deux éléments 118
101. Assemblage des pots sur les boîtes 119
102. Demi-coupe et demi-élévation d'un faisceau vaporisateur (disposition ancienne) 119
103. Chaudière de Naeyer avec réchauffeur. — Coupe longitudinale 120
104. Demi-coupe transversale et demi-élévation 121
105. Chaudière Schuchow. (M. Bary.) — Coupe longitudinale 122
106. Coupe horizontale du foyer 122
107. Demi-élévation et demi-coupe transversale 123
108. Générateur Niclausse 125
109. Coupe schématique montrant la disposition générale des tubes dans le système Niclausse. 125
110. Système Niclausse. — Extrémité A d'un tube vaporisateur 125
111. Tête d'un tube vaporisateur soudé à recouvrement 126
112. Tête d'un tube vaporisateur étiré sans soudure 126
113. Partie inférieure du réservoir d'eau et de vapeur 127
114. Alimentation 127
115. Stand de MM. J. et A. Niclausse 128
116. Chaudière à tubes d'eau, système Montupet 129
117. Système Montupet. — Emmanchement d'un tube vaporisateur 130
118. Trous à fermeture autoclave 130
119. Chaudière Borrot. — Coupe transversale 132
120. Détails de construction d'un caisson collecteur 132
121. Coupe longitudinale 133
122. Générateur Turgan. — Coupe longitudinale 135
123. Coupe horizontale 136
124. Coupe par ABCD de la figure 122 136
125. Chaudière Du Temple-Guyot à retour de flamme. — Demi-coupe transversale et demi-élévation 137
126. Coupe par ABC de la figure 125 137
127. Système Du Temple. — Cloisons vaporisatrices 137
128. Chaudière Chambroché. (MM. de la Brosse et Fouché.) — Coupes transversales 138
129. Coupe longitudinale et demi-plan 139
130. Chaudière de MM. Solignac, Grille et Cie 141
131. Chaudière *Climax*. — Demi-coupe verticale et demi-élévation 143

132. Chaudière verticale à bouilleurs croisés. (MM. Meunier et Cie.) 145
133. Ouverture de chargement d'une chaudière verticale à foyer intérieur. (A. Girard) 147
134. Dispositif de M. Montupet (tubes Field) 147
135. Ensemble d'une chaudière Field, système Montupet 148
136. Économiseur Green. — Coupe longitudinale 150
137. Plan 151
138. Coupe transversale 151
139. Bouchon autoclave 152
140. Machine de commande du ramonage 152
141. Surchauffeur Hering 157
142. Installation d'un surchauffeur Hering sur une chaudière de M. Berninghaus. — Coupe longitudinale 158
143. Coupe horizontale 159
144. Coupes transversales du groupe de deux chaudières de M. Berninghaus munies de surchauffeurs Hering 160
145. Surchauffeur Schmidt à foyer indépendant. (MM. Stork frères.) 161
146. Coupe longitudinale 162
147. Coupe transversale 162
148. Protecteur en verre armé. (MM. Schaeffer et Budenberg.) 164
149. Plan montrant le mode de fixation du protecteur en verre armé 164
150. Tube à effet de réfraction par élargissement d'une bande verticale. (Société du verre étiré.) 164
151. Tube à effet de réfraction, par redressement de raies obliques. (Société du verre étiré.). 164
152. Indicateur à effet de réflexion totale, avec robinetterie de MM. Hubner et Mayer 165
153. Soupape de sûreté de la compagnie Lunkenheimer 169
154. Soupape de sûreté de l'*Ashton Valve Co* 170
155. Soupape de sûreté de la Compagnie Crane 171
156. Soupape de sûreté de MM. Hübner et Mayer 171
157. Détail de la figure 156 171
158. Clapet automatique de retenue de vapeur. (MM. Delaunay-Belleville et Cie.) 173
159. Clapet d'arrêt de vapeur fermant dans le sens direct. (Hübner et Mayer.) 175
160 à 162. Soupape de prise de vapeur avec clapets d'arrêt fermant dans les deux sens. (Hübner et Mayer.) 176
163. Soupape d'arrêt pour vapeur à haute pression, avec obturateur en cuivre. (Compagnie Crane.) 177
164. Soupape d'arrêt avec soupape auxiliaire facilitant l'ouverture. (Hübner et Mayer.) 178
165. Détendeur. (Hübner et Mayer.) 178
166. Détendeur. (Dikkers et Cie.) 178
167. Raccord à joint métallique, sur tuyaux de cuivre. (MM. Meunier et Cie.) 179
168. Petit-cheval Belleville (disposition verticale) 183
169. Petit-cheval Thirion 184
170. Installation des appareils Thirion alimentant une batterie de générateurs Niclausse. (Usine La Bourdonnais.) 185
171. Injecteur à reprise automatique. (Dikkers et Cie.) 186
172. Injecteur à reprise automatique. (Lunkenheimer.) 186
173. Injecteur à vapeur d'échappement système Davies et Metcalfe. (Patent exhaust steam injector Co.) 186
174. Bouilleur Weir, type Marius Jullien 188
175. Épurateur vertical de la Société de la Madeleine (système Paul Gaillet) 190

176. Épurateur Desrumeaux 191
177. Épurateur Dervaux 191
178. Saturateur d'eau de chaux, avec chaîne mûe par un compteur d'eau à tambour. (Société de la Madeleine.) 192
179. Bac de réactif à écoulement sous charge constante. (Société l'«Épuration des Eaux».) .. 192
180. Compteur d'eau A. Schmid. (MM. d'Espine, Achard et Cie.) 194
181. Coupe transversale d'un cylindre du compteur Schmid 194
182. Détails d'un piston 195
183. Compteur d'eau Samain 196
184. Coupe transversale du compteur Samain 196
185. Grille à pyramides de M. J. Wagner 197
186. Grille *terminus*. (M. A. Montupet.) 198
187. Coupe par AB de la figure 186 198
188. Coupes par C et D de la figure 186 198
189. Foyer Kudlicz. — Élévation longitudinale 199
190. Façade 200
191. Vue de la caisse soufflée 200
192. Coupe de l'une des plaques perforées supportant le combustible 201
193. Foyer Meldrum 201
194. Grille pour foyer Meldrum 202
195. Grille Poillon 202
196. Chargeur Proctor 203
197. Façade d'une chaudière à deux foyers intérieurs munis de chargeurs Proctor 204
198. Foyer Lomchakov 205
199. Façade d'une chaudière à tubes d'eau avec foyer Lomchakov 205
200. Grille à chargement automatique. (Compagnie française Babcock et Wilcox.) 206
201. Vue de la grille à chargement automatique de la Compagnie Babcock et Wilcox 207
202. Foyer Joseph Hinstin 209
203. Coupe par AB de la figure 202 209
204. Indicateur de l'intensité de la fumée. (Association autrichienne des propriétaires d'appareils à vapeur.) 210
205. Cheminée Prat 213
206. Cheminée de l'usine La Bourdonnais. (MM. Nicou et Demarigny.) 214
207. Cheminée de l'usine Suffren 215
208. Tête de piston et pied de bielle. (Société des établissements Weyher et Richemond.) ... 219
209. Tête de bielle et plateau-manivelle. (Société des établissements Weyher et Richemond.) . 220
210. Tête de piston et pied de bielle. (Cie de Fives-Lille.) 223
211. Tête de bielle et plateau-manivelle. (Cie de Fives-Lille.) 224
212. Tête de piston et pied de bielle. (MM. Carels frères.) 227
213. Tête de bielle et manivelle avec commande du condenseur. (MM. Carels frères.) 228
214. Purgeur automatique. (M. H. Bollinckx.) 229
215. Garniture métalique Duval 233
216. Garniture métallique américaine. (*U. S. metallic packing Co*.) 234
217. Coupe transversale de la garniture de la *U. S. metallic packing Co* 234
218. Segment garni d'antifriction. (Pièces 5 des fig. 216 et 217.) 234
219. Joint à rotule. (Pièce 3 de la fig. 216.) 234
220. Tiroir plan avec détente Rider 236
221. Distribution par tiroirs cylindriques dans une machine à quadruple expansion; admission variable au petit cylindre. (M. Franco Tosi.) 236

222. Distribution par tiroir rotatif avec admission variable. (MM. Sulzer frères.) 237
223. Coupes transversales du tiroir rotatif 237
224. Disposition des lumières, la surface cylindrique étant développée 237
225. Distribution par tiroir rotatif pour moteur compound à simple effet. (Système Carels.) 238
226. Tiroirs d'admission et d'échappement, système Corliss. (E. Garnier et Faure-Beaulieu.) 238
227. Distribution Corliss; disposition d'un tiroir d'admission. (H. Bollinkcx.) 238
228. Tiroirs cylindriques d'admission et d'échappement. (Société des établissements van den Kerchove.) 239
229. Soupape d'admission à double siège, système Sulzer 240
230. Soupape d'échappement à double siège, système Sulzer 240
231. Soupape d'admission à quadruple siège, commandée par un levier roulant. (MM. Sulzer frères.) 241
232. Soupape d'échappement à quadruple siège, commandée par un levier roulant. (MM. Sulzer frères.) 241
233. Soupape de distribution complètement équilibrée. (Société de Brünn.) 242
234. Distribution Proell. (MM. Maerky, Bromovski et Schulz.) 244
235. Barre à mouvement variable. (Distribution Radovanovicz.) 245
236. Distribution Radovanovicz. (Société anonyme de Prague pour la construction des machines.) 245
237. Mécanisme de distribution à liaisons complètes. (MM. Bromley frères.) 246
238. Distribution Hugo Lentz et Voit. (Première Société de Brünn pour la construction de machines.) 247
239. Distribution Knoller. (Société pour la construction de machines, ci-devant Brand et Lhuillier.) 248
240. Détente par déclic sur la distribution Corliss à lames de sabre. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.) 250
241. Distribution Corliss-Farcot 250
242. Soupape d'admission Collmann, avec commande à déclic. (M. Ringhoffer.) 252
243. Soupape d'échappement Collmann, avec commande à déclic. (M. Ringhoffer.) 253
244. Distribution à soupapes, avec déclenchement pour l'admission. (M. Franco Tosi.) 254
245. Détail de la commande de la soupape d'admission. (M. Franco Tosi.) 255
246. Rappel pneumatique et amortisseur à air. (M. H. Bollinckx.) 256
247. Piston amortisseur de rappel, système Collmann 256
248. Coupe du piston amortisseur et du cylindre à huile. (Système Collmann.) 257
249. Ouvertures latérales du piston amortisseur 257
250. Diagramme des levées et des chutes d'une soupape d'admissisn, système Collmann 257
251. Moyeu de volant non claveté. (M. H. Bollinckx.) 259
252. Régulateur de Watt gouvernant la détente d'une machine Corliss. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.) 262
253. Régulateur de Proell, appliqué à la machine verticale de la Société alsacienne de constructions mécaniques 263
254. Régulateur d'Escher Wyss 264
255. Régulateur à force centrifuge à axe horizontal. (M. L. Lang.) 264
256. Installation du régulateur gouvernant la distribution Collmann de la machine Lang 265
257. Régulateur-volant gouvernant le tiroir cylindrique d'une petite machine à grande vitesse. (MM. Stork frères.) 266
258. Régulateur-volant. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.) 267
259. Régulateur-volant. (MM. Lederer et Porgès.) 267

260. Robinet d'arrêt de vapeur, pouvant être déclenché par un régulateur de sûreté. (Société française de constructions mécaniques.) 268
261. Palier d'arbre moteur, système David, avec graissage par bague roulante. (Établissements Weyher et Richemond.) 269
262. Coupe transversale du palier, système David 270
263. Palier d'arbre moteur avec graissage par chaînette. (MM. Carels frères.) 270
264. Graissage de manivelle 270
265. Principe du graissage sous pression pour machine à double effet et à rotation rapide. (MM. Delaunay-Belleville et Cie.) 271
266. Coupe transversale 272
267. Détails de la pompe sans clapet 273
268. Ensemble du groupe électrogène de MM. P. et A. Farcot 276
269. Vue de la machine Farcot 277
270. Machine Farcot. — Plan 278
271. Élévation avec coupe du cylindre 279
272. Élévation du côté de la distribution 280
273. Coupe du palier de manivelle 281
274. Coupe longitudinale du cylindre 281
275. Commande d'un tiroir d'admission. — Élévation et coupe par ABC 283
276. Coupe par *n*BD de la fig. 275 283
277. Machine de 500 chevaux, type Corliss, de MM. E. Garnier et Faure-Beaulieu 286
278. Machine Corliss de 500 chevaux. (MM. Garnier et Faure-Beaulieu.) — Vue du cylindre, prise du côté du mécanisme de distribution 287
279. Détail de la distribution Corliss à lames de sabre. (Machine de 500 chevaux de MM. Garnier et Faure-Beaulieu.) 288
280. Machine verticale de 180 chevaux à 150 tours par minute, avec détente par déclenchement, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu. — Élévation latérale 290
281. Détail de la distribution 291
282. Élévation de face du cylindre 291
283. Ressort de rappel et freins à air des distributeurs d'admission 292
284. Machine de 135 chevaux à 160 tours par minute, avec distribution à liaisons complètes, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu 293
285. Vue du mécanisme de distribution 294
286. Machine Corliss-David. (Établissements Weyher et Richemond.) 296
287. Mécanisme de commande d'un des distributeurs d'admission, système L. David. — Élévation et coupe longitudinale 297
288. Coupe transversale 297
289. Rappel pneumatique à frein d'huile (système L. David) 299
290. Tiroir d'admission à volet intérieur, système Corliss-Weyher 300
291. Machine Corliss-Weyher. — Coupe longitudinale du cylindre 300
292. Coupe transversale 301
293. Rappel des volets de détente 301
294. Machine Corliss-Weyher horizontale. — Vue du mécanisme de détente variable 302
295. Élévation du côté du mécanisme à liaisons complètes 302
296. Machine Corliss-Weyher verticale. — Vue du côté du mécanisme à liaisons complètes 303
297. Vue du côté du mécanisme à déclenchement 304
298. Graissage de tête de bielle. (Établissements Weyher et Richemond.) 305
299. Coupe transversale du système de graissage 306
300. Machine de 150 chevaux de MM. Mollet-Fontaine ..... 308.

IMPRIMERIE NATIONALE.

301. Coupes du cylindre 309
302. Commande d'un obturateur d'admission 310
303. Machine Corliss de MM. H. Brûlé et Cie. — Coupe longitudinale 311
304. Élévation du côté du mécanisme de distribution 311
305. Détail de l'élévation, extrémité AV du cylindre 312
306. Machine Corliss de MM. Ruston, Proctor et Cie 313
307. Chauffage du piston. (Ateliers Walschaerts.) 314
308. Distribution Robert. (Société des forges, usines et fonderies de Gilly.) 315
309. Distribution Hoyois. — Commande des soupapes d'admission 316
310. Vue de l'une des extrémités du cylindre 316
311. Machine Beer. — Ensemble 317
312. Coupes du cylindre 318
313. Plan du mécanisme de distribution 318
314. Coupe transversale montrant le mécanisme de distribution 319
315. Détail du système de déclenchement des tiroirs d'admission 319
316. Chauffage du piston 320
317. Distribution à deux robinets oscillants, avec détente par déclenchement. (M. Ch. de Coster.) 321
318. Machine Piguet 322
319. Détails du cylindre et du double tiroir 323
320. Schéma des deux tiroirs superposés 324
321. Commande des tiroirs 325
322. Vue d'une machine Piguet de modèle courant 325
323. Machine horizontale monocylindrique à détente Rider, de 200 chevaux. (MM. Buffaud et Robatel.) 326
324. Coupe transversale du cylindre 327
325. Coupe du palier de manivelle 327
326. Élévation avec coupes de la boîte à tiroir, de la pompe à air et du purgeur automatique 327
327. Machine de 80 chevaux de M. A. Aubert. — Coupe longitudinale du cylindre 328
328. Coupe AB de la fig. 327 328
329. Machine de 80 chevaux à 70 tours par minute, de MM. Lefebvre-Albaret, Laussedat et Cie. — Plan 328
330. Élévation de la machine Lefebvre-Albaret, Laussedat et Cie 329
331. Machine de 40 chevaux à 120 tours par minute, de la Société liégeoise pour la construction des machines. — Plan et coupes 330
332. Élévation transversale 330
333. Élévation longitudinale 331
334. Machine à tiroir circulaire, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu 331
335. Machine à distribution Claude Bonjour. (MM. Schneider et Cie.) 333
336. Schéma de la distribution à tiroir, système Claude Bonjour 334
337. Détail du mécanisme de commande du tiroir 335
338. Plan d'ensemble de la machine 335
339. Élévation du côté opposé au mécanisme de distribution 336
340. Coupe transversale 337
341. Coupe horizontale du cylindre 337
342. Coupe transversale de la crosse 338
343. Volant-régulateur 338
344. Machine compound de 750 chevaux de MM. Sulzer frères 342

345. Coupe du petit cylindre..... 343
346. Détail de la commande de chacune des soupapes d'admission du petit cylindre..... 344
347. Coupe du grand cylindre..... 346
348. Machine de 1,000 chevaux, de MM. Carels frères. — Vue du côté de l'arbre de distribution..... 347
349. Plan et coupe longitudinale..... 348
350. Coupe du petit cylindre..... 349
351. Coupe du grand cylindre..... 350
352. Détail du mécanisme de déclenchement..... 351
353. Vue du côté de la manivelle motrice..... 352
354. Machine tandem de MM. Biétrix, Leflaive, Nicolet et Cie. — Plan et élévation..... 353
355. Vue des cylindres et de la distribution..... 354
356. Coupe transversale du petit cylindre..... 355
357. Coupe longitudinale du grand cylindre..... 356
358. Machine tandem de MM. van den Kerchove. — Vue du côté de l'arbre de distribution.. 358
359. Plan..... 359
360. Élévation du côté de la manivelle motrice..... 360
361. Mécanisme de déclenchement et commande de la distribution du petit cylindre.... 361
362. Extrémité AR du petit cylindre, vue du côté de l'arbre de distribution..... 362
363. Même partie que la fig. 362, vue de l'autre côté..... 363
364. Machine de la Société Escher Wyss. — Élévation du côté de la manivelle motrice..... 365
365. Plan et élévation du côté des bielles de distribution..... 366
366. Coupes du palier principal de la glissière..... 367
367. Coupes des cylindres et de la lanterne..... 367
368. Vue de la machine tandem de la Société Escher Wyss..... 368
369. Détail du mécanisme de distribution. — Élévation..... 369
370. Tiroir d'admission et tiroir d'échappement juxtaposés. (MM. Dujardin et Cie.)..... 370
371. Coupe longitudinale d'un tiroir d'admission..... 371
372. Commande d'un tiroir d'admission, avec déclenchement, et tiroir d'échappement correspondant..... 372
373. Commande des poussoirs de déclenchement. — Élévation parallèle à l'axe des cylindres..... 373
374. Élévation transversale..... 374
375. Machine compound tandem de la Société alsacienne de constructions mécaniques..... 376
376. Élévation de la machine compound tandem. (Société alsacienne.)..... 377
377. Machine L. Lang. — Vue du petit cylindre..... 378
378. Plan..... 379
379. Élévation du palier et de la manivelle, côté du petit cylindre..... 380
380. Coupe longitudinale du petit cylindre..... 380
381. Vue du grand cylindre du côté de l'arbre de distribution..... 381
382. Vue du bâti du grand cylindre..... 382
383. Coupe transversale..... 383
384. Machine de 900 chevaux de la *Première Société de Brünn pour la construction de machines.* 385
385. Coupe longitudinale..... 386
386. Vue de la machine..... 387
387. Coupe transversale du petit cylindre..... 388
388. Coupe transversale du grand cylindre..... 389
389. Tige de soupape sans presse-étoupe..... 390
390. Machine de MM. Stork frères. — Vue d'ensemble..... 392

391. Plan 393
392. Coupe transversale 393
393. Élévation transversale 394
394. Élévation longitudinale 394
395. Réservoir intermédiaire. — Coupe transversale 395
396. Coupe longitudinale du réservoir intermédiaire 395
397. Vue du petit cylindre et du régulateur 396
398. Vue du grand cylindre 397
399. Machine *cross-compound* de MM. Marshall fils et Cie. — Plan 398
400. Élévation transversale 399
401. Coupes du petit cylindre 400
402. Machine Corliss à deux cylindres de MM. Crépelle et Garand. — Vue du petit cylindre 401
403. Vue du grand cylindre 403
404. Machine de la Compagnie de Fives-Lille. — Élévation du côté de la haute pression 405
405. Élévation du côté de la basse pression 406
406. Vue du petit cylindre 407
407. Vue du grand cylindre 408
408. Glissière du côté de la basse pression 409
409. Réservoir intermédiaire. — Coupe longitudinale 410
410. Coupe transversale du réservoir intermédiaire 410
411. Mécanisme de commande d'un tiroir d'admission. — Élévation normale à l'axe du tiroir 410
412. Élévation parallèle à l'axe du tiroir 411
413. Admission longue ou courte suivant la position de l'excentrique à onde 411
414. Suppression de l'enclenchement 411
415. Machine Bollinckx. — Plan 413
416. Élévation du petit cylindre 414
417. Élévation, côté du grand cylindre 415
418. Coupe du petit cylindre 416
419. Coulée du cylindre. — Chemise intérieure 417
420. Coulée du cylindre. — Enveloppe 417
421. Machine Bollinckx. — Vue du petit cylindre 418
422. Machine de la Société de Prague pour la construction de machines (anciennement Ruston et Cie). — Vue d'ensemble 420
423. Machine de la Société de Prague. — Plan 421
424. Coupe longitudinale du petit cylindre 422
425. Vue du petit cylindre et du régulateur 423
426. Vue du grand cylindre 424
427. Machine de MM. Maerky, Bromovsky et Schulz, de Prague. — Plan 425
428. Élévation de l'alternateur-volant et du petit cylindre 426
429. Vue d'ensemble de la machine de MM. Maerky, Bromovsky et Schulz 427
430. Machine de la Société anonyme, ci-devant Brand et Lhuillier, à Brünn. — Plan 428
431. Vue de la machine Brand et Lhuillier 429
432. Coupe et élévation du petit cylindre (distribution Knoller) 430
433. Élévation latérale, côté de la basse pression 430
434. Machine Robey. — Coupe longitudinale du cylindre 431
435. Coupe transversale 432
436 à 438. Détails de la crosse 433

439. Machine fixe compound horizontale de MM. Chaligny et Cie. — Élévation de la machine, avec coupe du condenseur. 435
440. Élévation transversale. 436
441 et 442. Coupes des cylindres. 436
443 et 444. Commande du tiroir du petit cylindre. 437
445. Machine verticale de la Société alsacienne de constructions mécaniques. — Vue d'ensemble. 438
446. Plan. 439
447. Coupe longitudinale. 440
448. Détail de la coupe longitudinale des cylindres. 441
449. Vue du petit cylindre. 442
450. Coupe transversale du petit cylindre. 443
451. Vue du grand cylindre. 444
452. Coupe transversale du grand cylindre. 445
453. Commande de la distribution au grand cylindre. 446
454. Machine à double expansion des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. — Vue d'ensemble. 448
455. Plan et coupe horizontale à hauteur des glissières. 449
456. Élévation latérale, côté du grand cylindre. 450
457. Plan de la partie supérieure. 451
458. Distribution au petit cylindre; soupapes desservant la face supérieure du piston. 452
459. Distribution au petit cylindre; soupapes desservant la face inférieure du piston. 453
460. Machine Allis de la Société française de constructions mécaniques. — Vue. 454
461. Élévation. 455
462. Élévation latérale, côté du petit cylindre. 456
463. Coupe transversale par le grand cylindre. 457
464. Machine de la Compagnie Galloway. — Élévation. 458
465. Coupe transversale. 459
466. Plan. 459
467. Élévation latérale du côté de la haute pression. 460
468. Machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie. — Ensemble. 461
469. Plan. 462
470. Vue du côté du cylindre de haute pression. 463
471. Élévation longitudinale, côté du cylindre de haute pression. 464
472. Cylindre de haute pression. 465
473. Coupe longitudinale par l'axe du cylindre de haute pression. 466
474. Cylindre de moyenne pression. 467
475. Coupe transversale par les distributeurs des cylindres de haute et de moyenne pression. 468
476. Élévation du côté du cylindre de moyenne pression. 468
477. Machine horizontale à triple expansion de MM. Sulzer frères. 469
478. Machine horizontale à triple expansion des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg. — Plan et coupes horizontales. 471
479. Coupe longitudinale par l'axe du cylindre de haute pression. 472
480. Coupes transversales. 472
481. Machine horizontale à triple expansion de M. F. Tosi. — Coté du cylindre de haute pression, vu de l'avant. 474
482. Coupe longitudinale. 475
483. Plan. 476
484. Coupes transversales. 477

485. Coupes transversales et mécanisme de distribution du petit cylindre 478
486. Détail du mécanisme de distribution 479
487. Côté du cylindre de haute pression, vu de l'arrière 480
488. Machine à triple expansion de MM. Bromley frères. — Plan et coupes horizontales 482
489. Coupe verticale par l'axe des cylindres de haute et moyenne pression 483
490. Coupe transversale du cylindre de haute pression 483
491. Coupe transversale du cylindre de moyenne pression 483
492. Coupes verticales du cylindre de basse pression et du condenseur 484
493. Machine verticale à triple expansion de la Société des Ateliers réunis d'Augsbourg et Nuremberg 486
494. Plan et coupes horizontales 487
495. Élévation de face 488
496. Élévation postérieure 489
497. Élévation latérale, côté du cylindre de moyenne pression 490
498. Plan de la partie supérieure 491
499 et 500. Détails du cylindre de basse pression. — Élévation latérale et élévation de face 492
501. Machine à triple expansion de M. Borsig. — Plan et coupes horizontales 493
502. Vue de face 494
503. Coupe longitudinale 495
504. Coupe transversale 496
505. Détails de la ligne d'arbre et installation de l'alternateur 497
506. Manivelle et glissière (détails) 498
507. Détails de la coupe longitudinale des cylindres 499
508. Détails de la coupe transversale par l'axe du petit cylindre de haute pression 500
509. Vue postérieure de la machine 501
510. Disposition des soupapes de distribution 502
511. Distribution d'un cylindre de basse pression. — Élévation transversale 502
512. Coupe des soupapes de distribution correspondant à l'une des extrémités du cylindre de haute pression 503
513. Machine à triple expansion de M. Ringhoffer. — Vue d'ensemble 504
514. Plan 505
515. Coupe de la partie haute, par les axes des cylindres 506
516. Élévation latérale, côté du cylindre de moyenne pression 507
517. Élévation latérale, côté du cylindre de basse pression 509
518. Détails de l'un des cylindres de haute presssion et du cylindre de moyenne pression . . . 510
519. Distribution du cylindre de haute pression 511
520. Moteur de 30 chevaux à 300 tours par minute, de MM. Sulzer frères 513
521. Moteur de 20 chevaux à 450 tours par minute, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu 514
522. Petite machine monocylindrique à grande vitesse, de M. Thune 515
523. Coupe longitudinale et élévation latérale 515
524. Machine compound à grande vitesse de la *Ball engine C^e*. — Vue d'ensemble 516
525. Élévation latérale, montrant le régulateur 517
526. Coupe du tiroir du cylindre de haute pression 518
527. Vue du tiroir 518
528. Machine verticale compound de MM. H. Brûlé et Cie. — Plan 519
529. Coupe longitudinale 520
530. Coupe transversale 520
531. Élévation latérale 521

532. Machine verticale compound de M. Chaligny 522
533. Coupe longitudinale 523
534. Plan 523
535. Élévation latérale 524
536. Coupe horizontale des cylindres et des tiroirs 525
537. Machine compound verticale de MM. Sautter, Harlé et Cie. — Coupe longitudinale 526
538. Coupe transversale 527
539. Machine compound verticale de MM. Lederer et Porges 528
540. Coupe longitudinale 528
541. Élévation transversale 528
542. Machine compound verticale de MM. Ruston, Proctor et Cie. — Élévation longitudinale 529
543. Plan 530
544. Élévation latérale 530
545. Machine de 60 chevaux à 325 tours par minute, de M. F. Tosi. — Plan et élévation . . 531
546. Coupe longitudinale 532
547. Vue perspective 533
548. Machine compound à grande vitesse, de M. Thune 534
549. Coupe longitudinale et élévation latérale 535
550. Machine de 400 chevaux à 250 tours par minute, avec distribution par tiroirs tournants, de MM. Sulzer, actionnant un alternateur d'OErlikon. — Ensemble du groupe électrogène 537
551. Coupe longitudinale 538
552. Plan 539
553. Coupe transversale par l'axe des tiroirs tournants 540
554. Vue de face 541
555. Coupe horizontale par les cylindres de haute pression 542
556. Coupe horizontale par les cylindres de basse pression 542
557. Détails de la partie inférieure 543
558. Machine à quadruple effet et à double expansion, de M. Émile Mertz 544
559. Coupe longitudinale 545
560. Coupe transversale par l'axe du cylindre de haute pression 545
561. Coupe d'un tiroir cylindrique simple 546
562. Machine à triple expansion (300 chevaux à 175 tours par minute) de la Société Escher Wyss 548
563. Machine à triple expansion de MM. Delaunay-Belleville et Cie. — Demi-coupe longitudinale et demi-élévation 550
564. Coupe transversale 551
565. Vue de la machine 552
566. Détails de la coupe longitudinale 553
567. Machine à triple expansion (type torpilleur) avec commande hydraulique des tiroirs, système Claude Bonjour. (MM. Schneider et Cie.) 555
568. Élévation longitudinale 556
569. Élévation transversale 557
570. Coupe d'un tiroir 558
571. Excentrique à calage variable 559
572. Mécanisme de changement de marche avec servo-moteur. — Élévation longitudinale . . . 559
573. Coupe horizontale du mécanisme de changement de marche et du servo-moteur 560
574. Vue en bout de la machine et du servo-moteur de changement de marche 561

575. Machine à triple expansion et quadruple effet de M. Émile Mertz. — Coupe longitudinale 562
576. Plan 562
577. Coupe transversale 563
578. Vue de l'exposition de M. Émile Mertz, montrant la machine à triple expansion et quadruple effet 563
579. Machine à quadruple expansion de M. F. Tosi. — Vue perspective 564
580. Plan 565
581. Élévation latérale 566
582. Coupe longitudinale 567
583. Coupe transversale par l'axe des cylindres n° 1 et n° 2 568
584. Coupe horizontale à hauteur des glissières 568
585. Coupe horizontale à hauteur des cylindres n° 1 et n° 3 569
586. Principe de la disposition des pistons et des cylindres dans la machine de M. Charles Bourdon 570
587. Machine à quadruple expansion de M. Charles Bourdon, construite par MM. H. Brûlé et Cie. — Coupe longitudinale 571
588. Coupe horizontale 571
589. Vue de la machine Bourdon à quadruple expansion et de son condenseur 572
590. Dispositions relatives à la purge du piston 573
591. Coupe verticale du réservoir intermédiaire 573
592. Machine à triple expansion de MM. Willans et Robinson 574
593. Tiroir axial 575
594. Machine à triple expansion et à trois lignes de cylindres, de MM. Willans et Robinson . . 578
595. Vue de la machine Willans et Robinson 579
596. Machine à simple effet, système Carels. (Société des moteurs à grande vitesse, de Sclessin.) 582
597. Garniture de la tige du tiroir tournant 583
598. Moteur à simple effet de 180 chevaux effectifs à 320 tours par minute, de M. Émile Mertz 584
599. Coupe longitudinale 585
600. Élévation latérale 586
601. Moteur à simple effet et à double manivelle, de M. Émile Mertz. — Coupe longitudinale 588
602. Coupe transversale 589
603. Moteur Victor Legrand. — Coupe longitudinale 590
604. Coupes transversales 590
605. Moteur H. Nègre. — Coupe transversale 591
606. Coupe longitudinale 592
607. Élévation normale à l'axe 592
608. Coupe schématique du moteur de Chardonnet 593
609. Principe du moteur Hult. — Coupe schématique transversale 595
610. Coupe schématique longitudinale 595
611. Principe du montage de l'axe du tambour et de celui de l'enveloppe dans des couronnes d'anneaux élastiques 596
612. Moteur Hult. — Coupe transversale 597
613. Moteur Hult conduisant une dynamo 598
614. Moteur rotatif de M. Louis Le Rond 599
615. Moteur rotatif de MM. Lebrethon et Hommet 600

616. Principe de la tubine à réaction 605
617. Principe de la turbine d'action pure 606
618. Turbine Parsons 610
619. Turbine Parsons. — Coupe 611
620. Principe de la turbine de Laval 613
621. Turbine de Laval. — Coupe de la boîte de distribution de vapeur et d'un ajutage 613
622. Roue à aubes avec axe évidé pour la pénétration de l'arbre 615
623. Roue à aubes sans évidement axial 615
624. Vue de la roue à aubes montée sur son arbre flexible : à côté, un ajutage. — A gauche, coussinet à rotule recevant l'extrémité libre de l'arbre 616
625. Turbine de Laval, de construction suédoise; type de petite puissance, à un seul arbre moteur 617
626. Régulateur à force centrifuge monté sur l'extrémité de l'arbre à vitesse réduite 618
627. Commande de la soupape d'admission par le régulateur 618
628. Turbine à deux arbres moteurs, de la Société de Laval, de Paris. — Plan 618
629. Coupe longitudinale 619
630. Détail du coussinet à rotule 619
631. Turbine compound Seger. — Coupes 620
632. Vue du côté de la poulie motrice 621
633. Vue du côté de l'évacuation de vapeur 621
634. Condenseur de la machine à tiroirs rotatifs de MM. Sulzer frères 623
635. Condenseur de la machine verticale de 180 chevaux à 150 tours par minute, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu 624
636. Condenseur de la machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie 625
637. Pompe à air de la machine à triple expansion de MM. Dujardin et Cie 626
638. Pompe à air de la machine horizontale de la Société alsacienne 627
639. Plan et coupe de l'un des deux condenseurs de la machine Ringhoffer 628
640. Pompe à air de la machine Borsig 629
641. Coupe transversale du condenseur de la machine horizontale Chaligny 630
642. Condenseur à piston plongeur à double effet, de MM. Garnier et Faure-Beaulieu 631
643. Autre modèle pour machine de moindre puissance 631
644. Clapet de pompe à air. (Garnier et Faure-Beaulieu.) 632
645. Éjecto-condenseur de M. E. Mertz 633
646. Éjecto-condenseur de M. Charles Bourdon 634
647. Condenseur par surface de MM. Delaunay-Belleville et Cie. — Élévation longitudinale 635
648. Élévation latérale 635
649. Plan des pompes 636
650. Coupe de la pompe à air 636
651. Condenseur Wheeler à tubes simples 636
652. Condenseur Wheeler à doubles tubes. — Ensemble 637
653. Détails d'un condenseur Wheeler à doubles tubes 637
654. Machine mi-fixe de M. R. Wolf 640
655. Coupe transversale de la machine mi-fixe de M. R. Wolf 641
656. Coupe axiale des cylindres 642
657. Machine mi-fixe de M. H. Lanz 643
658. Machine mi-fixe monocylindrique de la Société Weyher et Richemond. — Coupe et élévation longitudinale 644
659. Coupe transversale 645
660. Plan 645

661. Détail des appareils de sûreté de la chaudière. 645
662. Détail du régulateur et du compensateur. 645
663. Distribution par tiroir plan équilibré avec volets de détente à déclenchement, de la machine mi-fixe de 40 chevaux de MM. Weyher et Richemond. 646
664. Machine mi-fixe de MM. H. Brulé et Cie. — Coupe longitudinale et plan de la chaudière; élévation et coupe horizontale du mécanisme. 647
665. Coupe transversale. 648
666. Machine mi-fixe de la maison Albaret. — Élévation longitudinale et plan. 649
667. Coupe de la chaudière et élévation transversale du mécanisme. 649
668. Machine mi-fixe compound de M. Chaligny. — Coupe et élévation longitudinale. 650
669. Coupe et élévation transversale. 651
670. Locomobile de la maison Albaret. 652
671. Élévation longitudinale et plan. 653
672. Coupe et élévation transversale. 654
673. Machine compound de 24 chevaux effectifs, avec chaudière au-dessus. (MM. Marshall fils et Cie.). 655
674. Locomobile compound de 24 chevaux effectifs, de MM. Marshall fils et Cie. — Élévation longitudinale. 656
675. Elévation transversale. 657
676. Locomobile de 15 chevaux, de M. R. Wolf. — Élévation longitudinale. 658
677. Élévation transversale. 659
678. Locomobile de 30 chevaux, de la Fabrique de machines des chemins de fer de l'État hongrois. 660
679. Coupe transversale. 660
680. Machine mi-fixe Belleville de 12 chevaux. — Façade et élévation latérale. 661
681. Plan. 661
682. Élévation du mécanisme. 662

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Composition du jury 3
Introduction 5

CHAPITRE PREMIER.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX DES COMITÉS DE LA SECTION FRANÇAISE ET DU JURY INTERNATIONAL.

Admission et installation dans la section française 18
Dépenses générales de l'installation 21
Installation des sections étrangères 22
Opérations du Jury international 22

CHAPITRE II.

ENSEMBLE DE LA CLASSE.

Emplacements 24
Dispositions prises par le service des installations mécaniques pour les groupes électrogènes du Champ de Mars 27
Dispositions générales des usines productrices de vapeur 28
Canalisations de vapeur 35
Consistance des groupes électrogènes 39
Groupe électrogène de l'exposition américaine, à Vincennes 43

CHAPITRE III.

GÉNÉRATEURS DE VAPEUR.

I. Généralités.

Programme imposé aux générateurs modernes 43
Qualités différentes suivant les types 44
Construction 46
Accidents de chaudières 48
Associations pour la surveillance des appareils à vapeur 49

II. Chaudières horizontales à foyer extérieur.

Origine du type semi-tubulaire 52
Générateurs semi-tubulaires de l'Exposition 54
Multibouilleurs 60

III. Chaudières horizontales à foyer intérieur.

Principe des appareils à foyer intérieur 63

§ 1. Types sans faisceau tubulaire :

Origine de ces types 63
Générateurs Galloway 64
Chaudière Piedbœuf 66

§ 1. Types sans faisceau tubulaire (*suite*) :

Chaudière cylindrique Fitzner et Gamper 68
Chaudière à trois foyers de M. Berninghaus 70
Chaudières jumelles de la Société Paucksch 72

§ 2. Types à faisceau tubulaire :

Système Tischbein 73
Chaudières à deux corps, de M. Berninghaus 74
Chaudière à deux corps, de MM. Petzold et Cie 77
Chaudières tubulaires à flamme directe; chaudières à retour de flamme du système Thomas-Laurens 77

IV. Chaudières à tubes d'eau.

Développement de l'emploi des chaudières à tubes d'eau 79
La circulation dans ces chaudières 81
Mesures spéciales de sécurité 82
Classification 84

§ 1. Gros tubes d'eau associés en série :

Système Belleville 84

§ 2. Gros tubes d'eau associés en quantité :

Caractères généraux du système 95
Chaudières à éléments juxtaposés. Type Babcock et Wilcox 97
Chaudières Roser 105
Chaudières à caissons collecteurs 108
Steinmüller 109
Simonis et Lanz 111
Petry-Dereux 112
Chaudières à tubes d'eau Fitzner et Gamper 113
Type Büttner, construit par MM. Biétrix 115
Chaudière Mathot 117
Générateurs de Naeyer 117
Système Schuchow, construit par M. Bary 120

§ 3. Tubes Field inclinés :

Principe des chaudières à circulation libre et à tubes Field inclinés 123
Système Collet. Générateurs Niclausse 124
Dispositions diverses . . :
- Chaudières Dürr 128
- Exposition de M. Montupet 129
- Chaudière Joya 131
- Chaudière en X, système P. Borrot 131
- Générateur Turgan 134

§ 4. Petits tubes d'eau :

Caractères du système. Circulation accélérée 137
Système Chambroché 138
Chaudière Solignac 140

V. Chaudières verticales.

§ 1. Chaudières verticales à foyer extérieur :

Type primitif 142
Chaudière Climax 142

§ 2. Chaudières verticales à foyer intérieur :
Caractères généraux 144
Chaudières à bouilleurs croisés 145
Système Schuchow 145
Chaudières à tubes pendentifs 146
Chaudières verticales à tubes de fumée 148

VI. Réchauffeurs d'eau d'alimentation.
Économiseurs Green 152

VII. Surchauffeurs de vapeur.
Surchauffeur Hering 158
Surchauffeur Schmidt 160

VIII. Appareils indicateurs et de sûreté. — Canalisations de vapeur.
§ 1. Indicateurs du niveau de l'eau :
Tube de verre 163
Deuxième appareil indicateur du niveau de l'eau 166
§ 2. Manomètres 167
§ 3. Soupapes de sûreté 168
§ 4. Soupapes d'arrêt automatiques 172
§ 5. Canalisations de vapeur :
Soupapes et vannes d'arrêt; appareils divers 176
Tuyauteries 179
Enveloppes calorifuges 181

IX. Appareils d'alimentation, d'épuration des eaux et de nettoyage.
§. 1. Appareils d'alimentation :
Pompes alimentaires 181
Injecteurs 185
§ 2. Épurateurs d'eau d'alimentation :
Réchauffeurs-détartreurs 189
Épurateurs à froid 190
Filtres 193
§ 3. Appareils divers :
Compteurs d'eau d'alimentation 193
Outils de nettoyage 195

X. Foyers, grilles et cheminées.
§ 1. Grilles diverses et foyers spéciaux à houille :
Combustion sur grille 197
Foyers spéciaux. Utilisation des menus pauvres 198
Foyers à chargement automatique 201
Fumivorité 208
§ 2. Emploi d'hydrocarbures liquides comme combustibles :
Foyers à mazout 211
Chauffage mixte 212

§ 3. Dispositifs de tirage :
Tirage naturel; tirage artificiel 212
Cheminée Prat 213
§ 4. Construction des fourneaux et des cheminées 213

CHAPITRE IV.

RÉCEPTEURS À MOUVEMENT ALTERNATIF.

I. Généralités.
Conditions actuelles d'emploi 216
Vitesse angulaire et vitesse de piston 217
Pression initiale et nombre de détentes 222
Nombre et groupement des cylindres 225
Forme des cylindres. Enveloppes de vapeur 226
Disposition horizontale ou verticale 230
Arbres, paliers et bâtis 231
Coussinets et garnitures 233
Distribution 235
Régularisation de la vitesse 257
Graissage 268
Dispositions spéciales pour l'emploi de la vapeur surchauffée 273
Revue des principales machines 274
II. Machines à moyenne vitesse.
§ 1. Simple expansion :
Genre Corliss . . . . . MM. P. et A. Farcot 275
MM. E. Garnier et Faure-Beaulieu 285
Établissements Weyher et Richemond 295
Machines diverses 309
Autres systèmes à quatre distributeurs 314
Machines à distribution par deux lumières. . . . . Généralités 320
Machines Piguet 321
Machines diverses à tiroirs plans 326
Machine à distribution par tiroir, système Claude Bonjour 332
§ 2. Double expansion :
A. Types horizontaux 339
Machines à cylindres en tandem. . . . . Machine Sulzer de 750 chevaux 340
Machine Carels de 1,000 chevaux 346
Machine de la maison Biétrix 353
Anciens ateliers van den Kerchove 357
Société Escher Wyss 364
Machine Dujardin de 850 chevaux 369
Machine de 350 chevaux de la Société alsacienne 375
Machines à cylindres parallèles 377
Distributions à soupapes. . . . . M. L. Lang 377
Première société pour la construction de machines, de Brunn 383
Machine de 600 chevaux de MM. Stork 391
Machines diverses 399

2. Double expansion (*suite*) :

Distribution Corliss. . . { Crépelle et Garand. 401
Compagnie de Fives-Lille. 404
Machines Dujardin pour filatures. 412
M. H. Bollinckx. 412

Distributions mixtes. . . { Société de Prague. 419
Maerky, Bromovsky et Schulz. 424
Ancienne maison Brand et Lhuillier. 428
Société Schlick. 430
Machine Robey. 431

Machines diverses à distributeurs plans. 433

B. Types verticaux. 437

Machines à cylindres juxtaposés. { Groupe électrogène de la Société alsacienne. 439
Machine compound des ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg. 447

Machines à arbre droit. { Société française de constructions mécaniques. 454
Machine Galloway. 458

§ 3. Triple expansion :

Types horizontaux. . . . { Dujardin. 460
MM. Sulzer frères. 469
Société d'Augsbnurg et Nuremberg. 470
Tosi. 473
Bromley. 481

Types verticaux. . . . . { Ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg. 485
Borsig. 493
Ringhoffer. 503

III. Machines à grande vitesse.

Généralités. 512

§ 1. Machines à double effet :

Simple expansion. 514

Double expansion :

Type horizontal. . . . . Machine Ball. 516

Types verticaux. . . . . { H. Brulé et Cie. 519
Chaligny. 521
Sautter, Harlé et Cie. 525
Lederer et Porges. 527
Section anglaise. 529
Tosi. 531
Bromley. 533
Thune. 534
Machines à graissage sous pression. 535
Machine Sulzer à tiroirs tournants. 536
Machines Mertz. 544

Triple expansion . . . . . { Machine de 500 chevaux de la Société d'Augsbourg et de Nuremberg. 546
Société Escher Wyss. 547
Machine Belleville. 549

§ 1. Machines à double effet (*suite*) :

Triple expansion (*suite*). { Machine de MM. Schneider et Cie, à distribution Claude Bonjour 554
Machine Mertz à triple expansion 561

Quadruple expansion ... { Machine Tosi à quadruple expansion 565
Moteur Bourdon 569

§ 2. Machines à simple effet :

Système Willans-Robinson 573
Système Carels 581
Système Mertz 583
Types divers 591

IV. Récepteur à mouvement alternatif non rectiligne 593

CHAPITRE V.

RÉCEPTEURS ROTATIFS.

I. Machines à diaphragme tournant.

Moteurs Hult 595
Systèmes divers 598

II. Turbines à vapeur.

Généralités 601
Classification 604
Turbine Parsons 607
Turbine de Laval 612
Turbine compound Seger 620

CHAPITRE VI.

CONDENSEURS.

Conditions générales d'installation 622

I. Condenseurs par mélange :

Dispositions d'ensemble 622
Pompes à air 625
Éjecto-condenseurs 632

II. Condenseurs par surface. — Appareils divers :

Condenseurs par surface 635
Réfrigérants 638
Aéro-condenseur 638
Dégraissage de l'eau 639

CHAPITRE VII.

MACHINES MI-FIXES ET LOCOMOBILES.

Grandes machines mi-fixes de la section allemande 639
Appareils mi-fixes de moyenne puissance; locomobiles pour usages divers 644
Remarques générales sur les moteurs industriels 662

Special
13-B10198
v. 4, pt 1
...TY CENTER
LIBRARY